

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LOS CARBONES  
EXPLOTADOS POR LA EMPRESA INTERCARBON MINING S.A.S.**

**EDY SANTIAGO CELY SIERRA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS  
SOGAMOSO  
2016**

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LOS CARBONES  
EXLOTADOS POR LA EMPRESA INTERCARBON MINING S.A.S.**

**EDY SANTIAGO CELY SIERRA**

**Propuesta presentada como requisito para optar al título de Ingeniero en  
Minas en la modalidad de Monografía**

**ING. VICTOR HERNANDO MEDINA NIÑO**

**Director del Proyecto**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS  
SOGAMOSO  
2016**

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

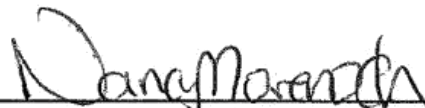
---

---

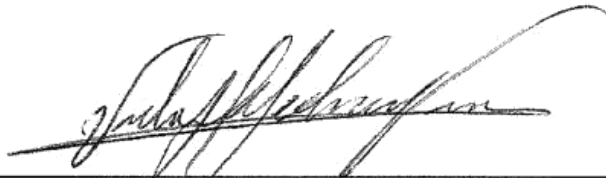
---

---

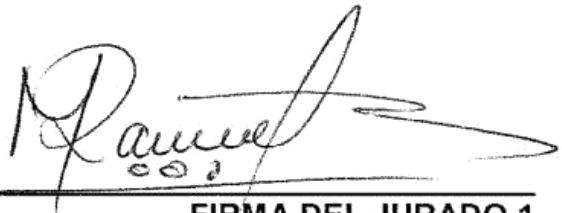
---



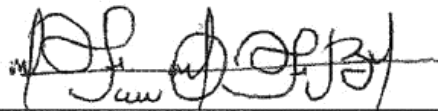
**FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO**



**FIRMA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO**



**FIRMA DEL JURADO 1**



**FIRMA DEL JURADO 2**

**Sogamoso, 08 septiembre de 2016**

## CONTENIDO

Pág.

### RESUMEN

### INTRODUCCION

1 ASPECTOS GENERALES	16
1.1RAZÓN SOCIAL	16
1.2 LOCALIZACIÓN	16
1.2.1 Zona Ráquira.	16
1.2.2 Zona Guachetá	17
1.3 VIAS DE ACCESO	18
1.3.1 Zona Ráquira	18
1.3.2 Zona Guachetá. L	19
1.4 FISIOGRAFÍA DE LA ZONA	21
1.4.1Clima	21
1.4.2 Vegetación.	22
1.4.3 Hidrografía	22
1.4.3.1 Zona Guacheta.	22
1.4.3.2 Zona Raquira	23
1.5 SITUACIÓN JURÍDICA	23
1.6GEOLOGÍA REGIONAL	24
1.6.1 Geomorfología.	24
1.6.2 Estratigrafía.	24
1.6.2.1 Formación La Regadera (Tr).	24
1.6.2.2 Formación Guaduas (Ktg).	25
1.6.2.3 Formación cacho (Tc).	26
1.6.2.4 Formación Bogotá. (Tb).	26
1.6.2.5 Cuaternario (Q).	27
1.6.3 Geología Estructural.	28
1.7 GEOLOGÍA LOCAL Y DE LOS MANTOS DE CARBÓN.	31
1.7.1 Guaduas Inferior.	31
1.8 PROCEDENCIA ACTUAL DEL CARBON EXPLOTADO	34
1.8.1 Mina la Peña	34

1.8.2	Mina Pedro	35
1.8.3	Mina Bocatoma	36
1.8.4	Mina La Mana	37
1.8.5	Mina Laberinto	39
1.8.6	Destino actual del carbón explotado.	39
2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LOS CARBONES EXPLOTADOS POR INTERCARBON MINING S.A.S.		41
2.1	MUESTREO	41
2.1.1	Tipo de muestreo.	41
2.1.2	Preparación de la muestra	44
2.2	ANÁLISIS INMEDIATO	46
2.2.1	Humedad.	46
2.2.2	Cenizas.	49
2.2.3	Materia volátil	53
2.2.4	Carbono fijo.	54
2.3	ANÁLISIS PETROGRÁFICO	55
2.3.1	Preparación de la muestra	57
2.3.2	Reflactancia media aleatoria de la vitrinita	59
2.3.3	Análisis de macérales	66
2.4	PROPIEDADES REOLOGICAS	69
2.4.1	Plastometría.	69
2.4.2	Dilatometría.	77
2.4.3	Indice de hinchamiento libre (Free Swelling Index) FSI.	83
3.	CLASIFICACION DE LOS CARBONES	86
3.1	CLASIFICACIÓN FRANCESA	86
3.2	CLASIFICACIÓN ASTM POR RANGOS	88
3.3	CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL	89
3.4	Clasificación Ingeominas	92
4.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE MEZCLAS	94
4.1	ANÁLISIS GENERAL DE LOS CARBONES	94
4.2	DISEÑO Y CALCULO DE MEZCLAS	95
4.3	PROPUESTA DE PRODUCTOS A OFRECER	96
4.3.1	Producto 1	97
4.3.2	Producto 2	98
4.3.3	Producto 3	99

5. COSTOS	100
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura. 1. Localización zona Raquira	17
Figura. 2. Localización general de zona Guachetá.	18
Figura. 3. Carreteable, vía de acceso zona Ráquira	19
Figura. 4. Carreteable vía Guacheta – zona de estudio	20
Figura. 5. Vista lateral manto Bocatoma	37
Figura. 6. Flujograma preparación de muestra	44
Figura. 7. Flujograma preparación de muestras malla 60 (250 um)	45
Figura. 8. Flujograma preparación muestras petrografía	45
Figura. 9. Flujograma preparación muestras reología	46
Figura. 10. Curva de fluidez	69
Figura. 11. Perfiles para la determinación del FSI	84

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Trayectos y cercanía de la zona de estudio	19
Tabla 2. Trayectos cercanos a la zona de estudio	20
Tabla 3. Clasificación Bioclimática según Holdrige.	21
Tabla 4. Propuesta de Ingeominas	92



## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Reflectograma manto Rubí.	61
Gráfica 2. Reflectograma manto Piedro	61
Gráfica 3. Reflectograma manto Tesorito.	62
Gráfica 4. Reflectograma manto Tesoro	62
Gráfica 5. Reflectograma manto Cisquera.	63
Gráfica 6. Reflectograma manto Bocatoma.	63
Gráfica 7. . Reflectograma manto Milagro.	64
Gráfica 8. Reflectograma manto Aliso.	64
Gráfica 9. Reflectograma manto Tesoro (mina Mana)	65
Gráfica 10. Reflectograma manto Cisquera (mina Mana).	65
Gráfica 11. Reflectograma manto Cisquera (Mina Laberinto)	66
Gráfica 12. Curva de fluidez manto Piedro y cuadro resumen	73
Gráfica 13. Curva de fluidez manto Rubí y cuadro resumen	74
Gráfica 14. Curva de fluidez manto Tesoro y cuadro resumen	74
Gráfica 15. Curva de fluidez manto Tesorito y cuadro resumen	74
Gráfica 16. Curva de fluidez manto cisquera (mina peña) y cuadro resumen	75
Gráfica 17. Curva de fluidez manto Bocatoma y cuadro resumen	75
Gráfica 18. Curva de fluidez manto Milagro y cuadro resumen	75
Gráfica 19. Curva de fluidez manto Aliso y cuadro resumen	76
Gráfica 20. Curva de fluidez manto Tesoro (Mina Mana) y cuadro resumen	76
Gráfica 21. Curva de fluidez manto Cisquera (mina Mana) y cuadro resumen	76
Gráfica 22. Curva de fluidez manto cisquera (mina Laberinto) y cuadro resumen	77
Gráfica 23. Dilatometría manto Piedro y cuadro resumen	80
Gráfica 24. Dilatometría manto Rubí y cuadro resumen	80
Gráfica 25. Dilatometría manto Tesoro (mina Peña) y cuadro resumen	80
Gráfica 26. Dilatometría manto Tesorito y cuadro resumen	81
Gráfica 27. Dilatometría manto Cisquera (mina Peña) y cuadro resumen	81
Gráfica 28. Dilatometría manto Bocatoma y cuadro resumen	81
Gráfica 29. Dilatometría manto Milagro y cuadro resumen	82
Gráfica 30. Dilatometría manto Aliso y cuadro resumen	82
Gráfica 31. Dilatometría manto tesoro (Mina Mana) y cuadro resumen	82
Gráfica 32. Dilatometría manto Cisquera (mina Mana) y cuadro resumen	83
Gráfica 33. Dilatometría manto Cisquera (mina Laberinto) y cuadro resumen	83

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Resumen del análisis de humedad en las muestras.	49
Cuadro 2. Resumen cenizas muestreo canal	51
Cuadro 3. Resumen comparativo cenizas producción ash probe laboratorio	52
Cuadro 4. Resumen contenido materia volátil de cada manto.	54
Cuadro 5. Resumen resultados contenido Carbono Fijo.	55
Cuadro 6. Resumen análisis reflectancia de la vitrinita.	60
Cuadro 7. Resumen análisis Macérales	68
Cuadro 8. Resumen plastometría mantos	73
Cuadro 9. Resumen ensayo Dilatometría.	79
Cuadro 10. Resumen resultados ensayo FSI	85
Cuadro 11. Clasificación Francesa	86
Cuadro 12. Resultados clasificación francesa	87
Cuadro 13. Clasificación ASTM por rangos	88
Cuadro 14. Resultados Clasificación ASTM	89
Cuadro 15. Clasificación Internacional	90
Cuadro 16. Resultados Clasificación internacional	91
Cuadro 17. Resultados clasificación propuesta por Ingeominas	93
Cuadro 18. Resumen características mantos	94
Cuadro 19. Proporción en la mezcla de los mantos	95
Cuadro 20. Caracterización diseño de mezclas	96
Cuadro 21. Costos totales estudio	100

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Mapa hidrológico Zona de estudio	22
Imagen 2. Hidrología zona de estudio	23
Imagen 3. Plancha Geológica 190	28
Imagen 4. Corte Geológico Zona Guachetá – Ráquira	29
Imagen 5. Vitrinta	56
Imagen 6. Inertitas	56
Imagen 7. Excinitas	57
Imagen 8. Dilatometría	77
Imagen 9. Resumen análisis mezcla 2 producto 1	97
Imagen 10. Resumen análisis mezcla 3 producto 2	98
Imagen 11. Resumen análisis mezcla 4 producto 3	99

## LISTA DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto 1. Depósitos cuaternarios	27
Foto 2. Localización de bocaminas.	30
Foto 3. Algunas Fallas regional y locales.	30
Foto 4. Bocamina Mina La Peña	34
Foto 5. Bocamina Mina Piedro	35
Foto 6. Bocamina Mina Bocatoma	36
Foto 7. Bocamina Mina La Mana	37
Foto 8. Bocamina mina Laberinto	39
Foto 9. Planta Castilla COQUECOL S.A.C.I	39
Foto 10. Muestra tomada y formato de muestreo elaborado	42
Foto 11. Muestra lista para análisis próximos	47
Foto 12. Crisol equipo TGA LECO	48
Foto 13. Equipo de laboratorio TGA de LECO	48
Foto 14. Equipo TGA y muestra preparada para análisis.	51
Foto 15. Crisol con tapa para análisis materia volátil	53
Foto 16. Horno Hoskin	53
Foto 17. Muestra 500g malla 20 contramarcada	57
Foto 18. Frasco de preparación muestra petrografía	57
Foto 19. Cortadora disco Diamantado	58
Foto 20. Probetas cortadas a la mitad	58
Foto 21. Pulidora probetas LECO.	59
Foto 22. Muestra en microscopio	67
Foto 23. Microscopio en lectura de macerales	67
Foto 24. Balanza electrónica peso indicado	70
Foto 25. Crisol, agitador e instrumentos ensayo Plastometria	70
Foto 26. Crisol armado y mezclador	71
Foto 27. Procedimiento apisonador plastómetro	71
Foto 28. Instalación de muestra en plastómetro	72
Foto 29. Pantalla equipo Plastometria	72
Foto 30. Procedimiento preparación muestra Dilatometría	78
Foto 31. Procedimiento instalación pistón y puesta en horno dilatométrico	79
Foto 32. Muestras y horno ensayo hinchamiento libre FSI	84
Foto 33. Medición del índice de hinchamiento libre FSI	85

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1. COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL ZONA RAQUIRA

ANEXO2. COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL ZONA RAQUIRA

ANEXO 3. MAPA GEOLOGICO LOCAL ZONA RAQUIRA

ANEXO 4. MAPA GEOLOGICO LOCAL ZONA RAQUIRA

ANEXO 5. CORRELACION MANTOS NIVEL 1 Y 2 FORMACION GUADUAS

## **RESUMEN**

En la zona de Boyacá y Cundinamarca se explotan carbones que poseen diferentes características según las condiciones geológicas y la génesis del mismo, haciendo necesaria la caracterización para así tener características detalladas en cada centro de producción minera, obteniendo una variación de características alta; para obtener un mayor provecho económico de los carbones explotados y un producto característico se plantea un estudio y cálculo de mezclas. En esta tesis se estudian once carbones de la zona de Ráquira y Guachetá, a partir de los cuales se formulan cuatro mezclas para evaluar la incidencia de las propiedades reológicas y parámetros petrográficos de los carbones sobre la calidad del coque metalúrgico. Los carbones y sus mezclas se caracterizaron mediante análisis próximo, último, índice de hinchamiento libre, plastometría, dilatometría, reflectancia media aleatoria de la vitrinita y clases de vitrinoides y la reflectancia media aleatoria de la vitrinita.

## **ABSTRACT**

In the zone of Boyacá and Cundinamarca are extracted coals have different characteristics depending on geological conditions and the genesis of it are exploited, necessitating detailed characterization in order to have each mining production center features, obtaining a high variation characteristics; for greater economic benefit of the exploited coal and a characteristic product a study and calculation of mixtures is posed. In this thesis, coals from Ráquira Zone and Guachetá Zone were studied; from which four mixes are formulated to evaluate the incidence of rheological properties and petrographic parameters coals Quality Report metallurgical coke. Coals and their blends were characterized by analysis Next; free swelling index, plastometry media, dilatometry random reflectance of vitrinite and vitrinoides classes and random average vitrinite reflectance.

## **INTRODUCCION**

En la minería actual la tecnología, la ciencia y la ingeniería van en conjunto para obtener eficiencia en cada proceso operacional de la extracción y el beneficio de minerales, para obtener esta eficiencia se debe primero conocer las características geológicas de la zona y su comportamiento estructural, seguidamente se deben realizar los ensayos necesarios para conocer las características comerciales del mineral o roca a explotar para así ser competitivos en mercados nacionales e internacionales, finalmente es fundamental juntar estas características para así elaborar alternativas operacionales para mejorar la calidad del mineral o roca y con las características del mismo plantear su uso y comercialización en la industria.

Cada uno de los procesos anteriores se deben desarrollar de manera técnica y teniendo en cuenta manuales de procedimientos y normas técnicas; analizando los diferentes parámetros a utilizar en un estudio de este tipo se puede concluir que en la comercialización de carbón en donde actualmente no se compite con volumen si no con la calidad del producto.

Este trabajo pretende caracterizar los carbones de la zona objeto de estudio por medio de análisis próximos, petrográficos y reológicos que permitan establecer parámetros de calidad los cuales se tendrán en cuenta para el diseño de mezclas con el propósito de ofrecer una serie de productos con características.

## 1 ASPECTOS GENERALES

### 1.1 RAZÓN SOCIAL



El Grupo PH es una empresa Brasileña especializada en soluciones personalizadas para la manipulación industrial en los sectores del acero, metalurgia y minerales; actualmente ha estado expandiendo su negocio a nivel internacional a través Intercarbon Mining S.A.S en Colombia en el segmento de la minería con la extracción de carbón metalúrgico de alta calidad.



Intercarbon Mining S.A.S es una de las principales empresas en el mercado colombiano. Este reconocimiento se debe a la calidad del carbón de baja y media volatilidad y normas técnicas de seguridad para sus recursos humanos en cada una de las unidades de producción minera

Sus operaciones se concentran en dos complejos mineros ubicados en los municipios de Ráquira y Guachetá.

### 1.2 LOCALIZACIÓN

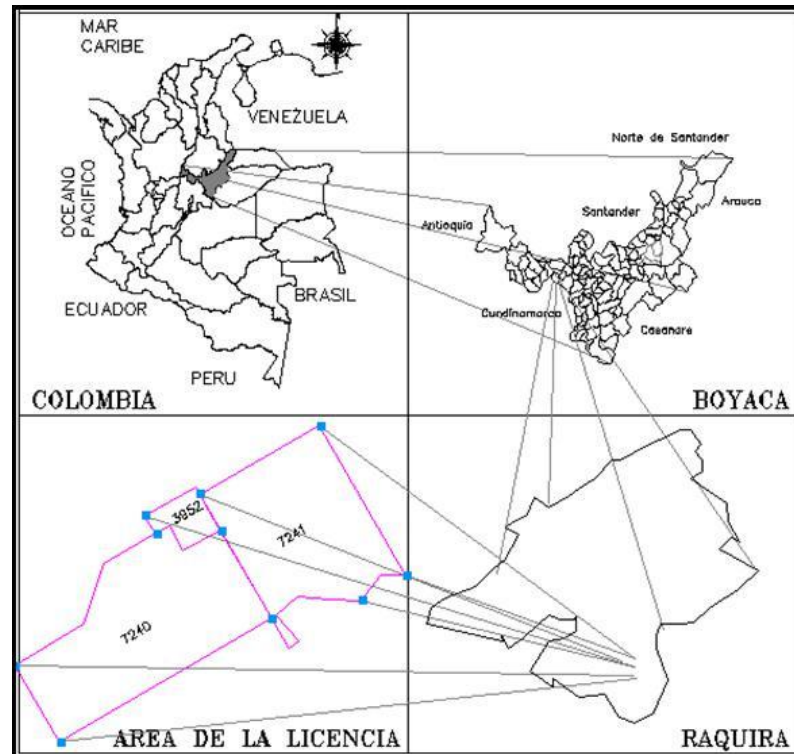
La empresa INTERCARBON MINING S.A.S objeto de estudio se encuentra dividido en dos zonas:

**1.2.1 Zona Ráquira.** Ubicada en el departamento de Boyacá, Municipio de Ráquira (figura 1), vereda Firita Peña Arriba, en la vía que del municipio de Samacá, vereda Loma Redonda comunica con el municipio de Ráquira, este carreteable se encuentra en buenas condiciones.



Las minas de esta zona se encuentran dentro de los Contratos de Concesión N° 7240 y 7241 concesionados a la Cooperativa Boyacense de Productores de Carbón LTDA y dentro del Contrato de Concesión N° 3952 perteneciente a Minas la Peña LTDA, para un total de 1697.85 hectáreas de área definitiva de explotación, la empresa explota la zona como operador minero en las concesiones nombradas.

**Figura. 1. Localización zona Raquira**

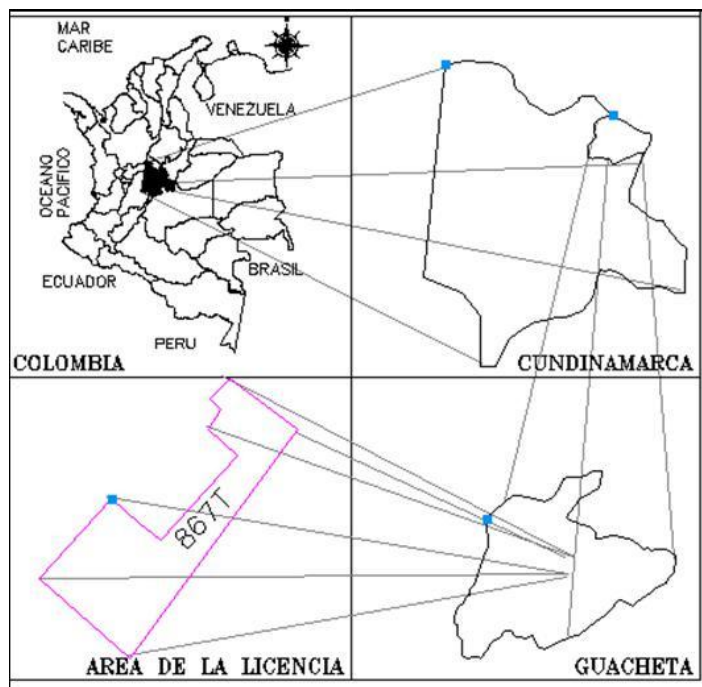


Fuente: Datos de estudio

**1.2.2 Zona Guachetá.** Ubicada en el departamento de Cundinamarca, en la jurisdicción del municipio de Guachetá en la vereda Peñas arriba (ver figura 2), la vía de comunicación es la vía que conduce del municipio de Samacá por la vereda loma redonda hacia el municipio de Guachetá.

Las minas ubicadas en esta zona se encuentran dentro del contrato de concesión 867T perteneciente a la Sociedad De Productores Mineros De Carbón De Guacheta S.A.S. 293,33 hectáreas de área definitiva concedida para explotación de carbón.

**Figura. 2. Localización general de zona Guachetá.**



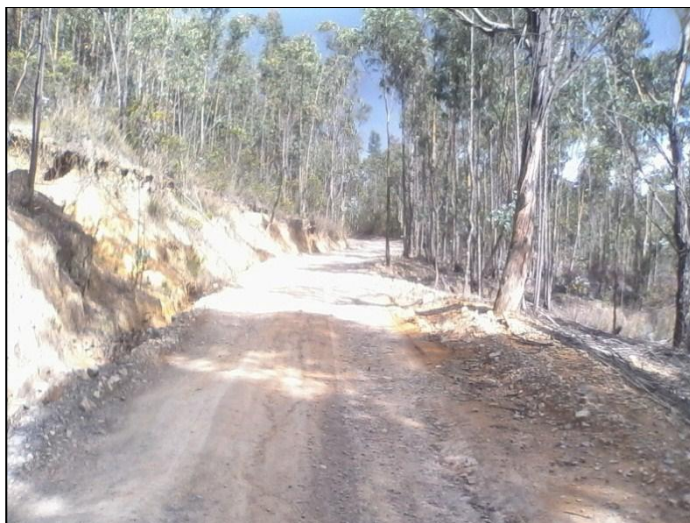
Fuente: Datos de estudio.

### **1.3 VIAS DE ACCESO**

**1.3.1 Zona Ráquira.** La zona de estudio se encuentra localizada en la parte norte del departamento de BOYACÁ, y comprende el municipio de Ráquira, vereda el Firita Peña Arriba, por la vía que de Ráquira conduce a la Firita Peña Arriba, aproximadamente a kilómetro 15.

La principal vía de acceso al área de estudio es la carretera principal Guachetá – Samacá (35 Km.); del municipio de Guachetá parte el carreteable a Samacá y en el kilómetro 7.5 se encuentran vías que conducen al proyecto, como punto de referencia se tiene la Estación de Servicio Brío, el carreteable se encuentra en buen estado de tránsito para vehículos de carga.

**Figura. 3. Carreteable, vía de acceso zona Ráquira**



Fuente: datos de estudio.

A continuación se presenta la Tabla 1 donde se resume las distancias de posible acceso al área del contrato desde diferentes puntos de comercialización del carbón extraído.

**Tabla 1. Trayectos y cercanía de la zona de estudio**

TRAYECTO	DISTANCIA	ESTADO CARRETEABLE
Contrato – Guacheta	14.1 Km	Destapada
Contrato – Raquira	19,8 Km	Destapada
Raquira – Sachica	23,2Km	Paviento
Sachica – Tunja	33,3Km	Pavimento

Fuente: Datos de estudio.

**1.3.2 Zona Guachetá.** La zona de estudio se encuentra localizada en la parte norte del departamento de CUNDINAMARCA, y comprende el municipio de Guacheta, vereda Peñas, por la vía que de Guacheta conduce a la vereda Peñas, aproximadamente a kilómetro 5.

La principal vía de acceso al área de estudio es la vía secundaria municipal que conduce del centro del municipio de Guacheta a la vereda Peñas (5 Km.), el carreteable se encuentra en buen estado de tránsito para vehículos de carga. A continuación se presenta la tabla 2 donde se resume las distancias de posible acceso al área del contrato desde diferentes puntos de comercialización del carbón extraído.

**Tabla 2. Trayectos cercanos a la zona de estudio**

TRAYECTO	DISTANCIA	ESTADO CARRETEABLE
Contrato – Planta Castilla	4.5 Km	Destapada
Contrato – Guacheta	2 Km	Destapada
Guacheta- Ubate	29.2 Km	Pavimento
Ubate – Bogotá	82.3 Km	Pavimento

Fuente: datos de estudio

**Figura. 4. Carreteable vía Guacheta – zona de estudio**



Fuente: datos de estudio

## 1.4 FISIOGRAFÍA DE LA ZONA

**1.4.1Clima.** Las zonas objeto de estudio están comprendidas entre las zonas de Bosque Seco premontano y Bosque Húmedo Montano Bajo y son minas ubicadas entre los 2000 y 3000 m de altura sobre el nivel del mar.

La temperatura promedio anual se ubica entre los 12 y 22 grados centígrados, se registran vientos variables con velocidades que van de unos 5 a 15 kilómetros por hora y más frecuentemente en los meses de junio, julio y agosto.

**Tabla 3.** Clasificación Bioclimática según Holdrige.

UNIDAD CLIMATICA	ALTITUD (MSNM)	TEMP. (°C)	RANGO DE PRECIPITACIÓN (mm)	TIPO DE CLIMA
Páramo Pluvial subalpino	> 3600 m	3 – 6	> 1000	Frío- húmedo
Páramo sub.-alpino	> 3600 m	3 – 6	500 – 1000	Muy frío – húmedo
Bosque muy húmedo Montano	2800 - 3600	6 – 12	500 – 1000	Muy frío – Muy Húmedo
Bosque húmedo montano	2800 – 3200	6 – 12	500 – 1000	Muy frío - húmedo
Bosque húmedo montano bajo	2800	12 – 18	1000 – 2000	Frío – Húmedo
Bosque seco Premontano	2000 – 2800	12 – 18	500 – 1000	Frío - seco

Fuente: Datos de estudio.

La temperatura promedio anual se ubica entre los 12 y 22 grados centígrados, se registran vientos variables con velocidades que van de 5 a 15 kilómetros por hora y más frecuentemente en los meses de junio, julio y agosto.

### 1.4.3 Hidrografía

Los principales tributarios de la Quebrada Miña y que se ven impactados por el vertimiento de aguas de las minas son las Quebradas de: Guayaneque, El Chorrerón, Galacia y El Roble y tienen una dirección SW-NE. Salvo la quebrada Guayaneque las demás son de régimen estacional. (Departamento minero energético Alcaldía Guacheta 2016)

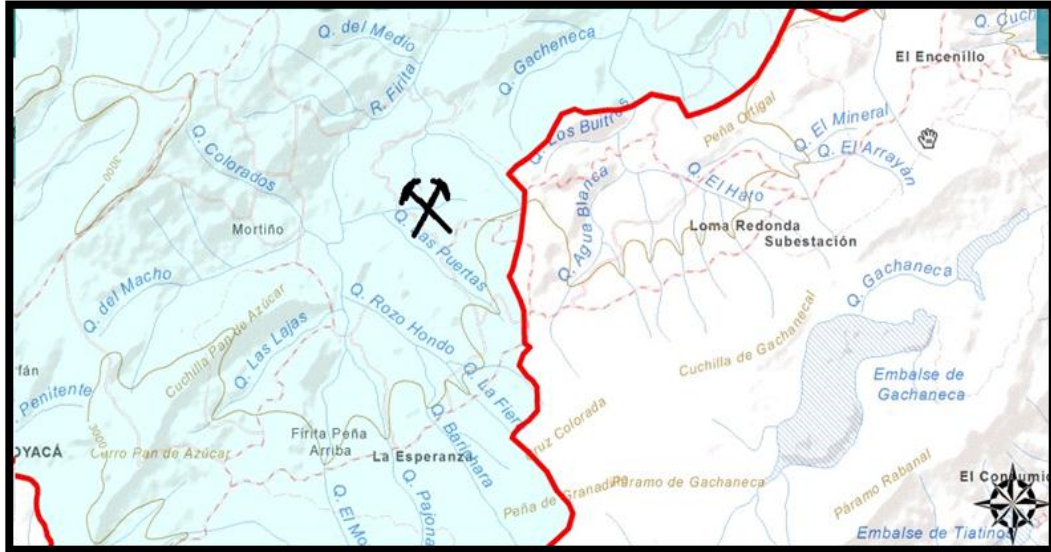
[illegible]

22



### 1.4.3.2 Zona Raquira

#### Imagen 2. Hidrología zona de estudio



Fuente: instituto geográfico Agustín Codazzi

En el área de influencia de las tres minas objeto de estudio concluyen las microcuencas de la quebrada Puertas y la quebrada Gachaneca. Estas mismas se ven impactadas por los vertimientos propios de la minería.

## 1.5 SITUACIÓN JURÍDICA

El instituto de geología y minería “INGEOMINAS” actualmente la agencia nacional de minería (ANM) en su Punto de Atención Regional Centro, otorgo a nombre de la Sociedad De Productores Mineros De Carbón De Guacheta S.A.S el Contrato de Concesión para la explotación de carbón con placa 867T con un total de 293,33 hectáreas de área definitiva concedida para explotación que conforma la zona de explotación Guacheta de la empresa

INTERCARBON MINING S.A.S.

Por otro lado El instituto de geología y minería “INGEOMINAS” actualmente la agencia nacional de minería (ANM) en su Punto de Atención Regional Nobsa otorgo a nombre de la Cooperativa boyacense de productores de carbón LTDA los contratos de concesión para explotación de carbón con placas 7240 y 7241; así mismo la ANM concedió a nombre de minas la Peña LTDA el contrato de concesión para explotación de carbón con placa 3952, teniendo un área definitiva

concedida total de los tres títulos de 1697.85 hectáreas en las cuales se tienen tres minas en la zona de explotación Raquira pertenecientes a INTERCARBON MINING S.A.S.

## **1.6 GEOLOGÍA REGIONAL**

**1.6.1 Geomorfología.** La morfología del área refleja claramente la composición litológica y la estructura de las formaciones que la constituyen; una de estas está representada por grandes escarpes constituidos por bancos de areniscas compactas de las formaciones Guadalupe, Cacho y los materiales arcillosos de la Formación Guaduas que constituyen las pendientes suaves, formando laderas fácilmente erodables, debido a su litología típicamente arcillosa. HUBACH, E. (1957).

Las intercalaciones arenosas forman pequeñas crestas dando una geoforma escalonada, sin embargo, se ha generado fuertes pendientes ocasionadas por la misma tectónica formando los coluviones que se encuentran actualmente enmarcando las formaciones y cuyas pendientes son suaves, se observa claramente el contacto de la arenisca de la formación Guadalupe con el miembro inferior de la formación Guaduas y así mismo el contacto con la formación cacho con el miembro superior de la formación Guaduas. HUBACH, E. (1957).

Cercano a las bocaminas se presenta una morfología moderadamente abrupta, esto debido a la presencia de materiales arcillosos intercalados con materiales arenosos, los túneles de acceso a los mantos son bastantes inclinados, pero en general la morfología a nivel local es suave debido a las arcillas pertenecientes a la formación Guaduas. HUBACH, E. (1957).

**1.6.2 Estratigrafía.** Los terrenos de la zona de estudio están formados por rocas sedimentarias pertenecientes al Maestrichtiano y al Paleoceno como se muestra en el plano geológico y cuyas formaciones se describen a continuación:

Las diferentes unidades litoestratigráficas presentes en el área de estudio están incluidas en la nomenclatura empleada en la Sabana de Bogotá, reconociéndose de base a techo Las Formaciones Guadalupe, Guaduas, Cacho, Bogotá, y por último los depósitos Cuaternarios. HUBACH, E. (1957).

**1.6.2.1 Formación La Regadera (Tr).** Esta unidad fué considerada inicialmente por Hubach, Enrique (1957b, p.98), como el miembro basal de la Formación Usme. Posteriormente Julivert, Manuel (1963, p.17) le dió categoría de formación, siendo éste, el sentido empleado en el presente trabajo.



En el área de estudio, la Formación La Regadera aflora en el núcleo del Sinclinal de Guachetá, compuesta por areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas, con intercalaciones de arcillolitas pardo claras. Su espesor en esta localidad no fué medido. Julivert, Manuel (1963, p. 17), reporta en la sección tipo un espesor de 400 m. La relación estructural de esta unidad con la infrayacente en el área de estudio es aparentemente concordante; sin embargo, en algunas localidades del cuadrángulo L-10, Fusagasugá, reposa discordantemente sobre diferentes niveles litológicos de la Formación Bogotá. Dentro de la unidad La Regadera, Hubach, Enrique (1957b, p. 98), indica la posible presencia de clastos derivados de Las limolitas silíceas del Guadalupe Superior.

Van der Hammen (1957) considera la Arenisca de La Regadera de edad Eoceno Superior, basado en datos palinológicos. Esta unidad por su posición cronoestratigráfica se correlaciona con las formaciones Picacho, Mirador y Areniscas de El Limbo, correspondientes a la nomenclatura de las áreas de Sogamoso, Santander y Bordo Llanero, respectivamente.

**1.6.2.2 Formación Guaduas (Ktg).** Definida inicialmente por Hetner, A (1892), al referirse a una secuencia de areniscas y arcilla que aflora cerca de la población de Guaduas.

Hubach (1957), propone una nueva localización y la ubica en los boquerones de Lenguazaque - Samacá tomando como límite estratigráfico superior la Formación Cacho y el inferior la parte superior del Guadalupe (arenisca tierna).

Esta Formación es la que contiene los mantos de carbón explotables, es objeto de nuestro estudio. Se le ha asignado una edad de Maestrichtiano Superior con base en los análisis palinológicos de los mantos de carbón. Esta Formación está dividida en tres conjuntos de rocas blandas (limonitas y arcillolitas) separadas por dos niveles duros (areniscas y conglomerados) los cuales se encuentran distribuidos así:

#### **Conjunto Guaduas Inferior.**

corresponde a la sucesión estratigráfica localizada entre el techo de la arenisca superior de la Formación Guadalupe y un paquete de arenisca denominada La Guía, está constituida en su mayor parte por una sucesión de arcillolita gris pizarrosa, bien estratificada, intercalada con arenisca cuarzosa, grano fino, matriz arcillosa. HUBACH, E. (1957).

Hacia la parte media y superior de este miembro existen mantos de carbón explotables, que en la región son llamados de bajos volátiles y sus espesores varían de 0,40 a 1,20 m, aptos para la producción de coque metalúrgico. El espesor total aproximado de este miembro es de 500 a 520 m.

**Conjunto Guaduas Medio**, miembro limitado en la base por la arenisca La Guía y en la parte superior por un grueso paquete de arenisca denominada La Lajosa; este miembro está compuesto en su mayor parte por arcillolita masiva gris, laminada bien estratificada, arcillolita carbonosas, la cual acompaña frecuentemente los mantos de carbón; la arenisca cuarzosa es de grano fino, de carácter lajoso, matriz arcillosa.

Este miembro presenta los mantos de carbón explotables económicamente y que en la región son llamados carbones de medios volátiles, en este se concentra la mayor parte de explotaciones mineras, el espesor de los mantos varía de 0,40 a 5,45m los cuales tienen algunas intercalaciones de estéril que complican su extracción y reducen el espesor de carbón aprovechable. El espesor total de este miembro es de 220m aprox. HUBACH, E. (1957).

**Conjunto Guaduas Superior**, limitado en la base por la arenisca La Lajosa y en la parte superior por la Formación Cacho. Este nivel está constituido por arcillolita abigarrada, gris con esporádicas intercalaciones de arenisca cuarzosa, de color amarillento a rojizo, grano fino a grueso, matriz arcillosa; presenta algunos mantos de carbón, los cuales no se explotan en la región. El espesor de este miembro es de 350 m aproximadamente. HUBACH, E. (1957).

**1.6.2.3 Formación cacho (Tc).** Se le ha asignado una edad de Paleoceno Inferior. Está constituida por arenisca cuarzosa de color blanco, gris, amarillento y con algunos tonos rojizos, generalmente de grano medio, a veces localmente conglomerático, matriz arcillosa, presenta estratificación cruzada y cemento ferruginoso. Cambell, C. (1962).

La formación se destaca en la morfología formando riscos y escarpes, los cuales se toman como una guía estructural, por ser continua, en la mayor parte de la cuenca carbonífera. El contacto inferior con la Formación Guaduas es concordante y transicional, se evidencia por la presencia de los bancos arenosos en el techo del Guaduas; esta formación aflora en toda la zona. Normalmente presenta un espesor total que oscila entre los 150 y 180 m a lo largo del flanco oeste del sinclinal. Cambell, C. (1962).

**1.6.2.4 Formación Bogotá. (Tb).** Considera como Formación Bogotá a un conjunto de arcillas y areniscas, limitando su base en la arenisca de la formación Cacho y su techo en la base de la arenisca La Regadera.

Esta formación aflora hacia la parte alta de la zona de estudio formando el núcleo del sinclinal Checua - Lenguaque y está compuesto por arcillolitas abigarradas con algunas intercalaciones de areniscas arcillosas, de estas formaciones se calcula un espesor aproximado a los 100m hacia la parte sur del área de estudio y constituyen la parte basal de esta formación. HUBACH, E. (1957).

**1.6.2.5 Cuaternario (Q).** Estos depósitos están representados por depósitos de talud, conformados por materiales de diversos espesores hasta grandes bloques cubiertos por lo general por una matriz arcillosa, esta clase de depósitos son comunes en este sector debido a la tectónica presente. (Ver Planos Geológicos, Perfiles y foto 1).

Dentro de los depósitos no consolidados se diferenciaron en general tres tipos, del más antiguo al más reciente son de origen fluvio-glacial, constituidos por grandes bloques que cubren grandes extensiones y se localizan hacia las partes altas y medias del área. HUBACH, E. (1957).

Los depósitos de Derrubio o Coluviales también se constituyen por acumulaciones de bloques y guijos angulares, especialmente sobre las pendientes o laderas que son producidas por fenómenos gravitacionales.

Los más recientes o aluviales que son el producto del retrabajamiento de todos los sedimentos y sedimentitas que afloran en el área y que en la actualidad se hallan rellenando los diferentes valles de ríos y quebradas de la región. En la foto 2 se observa la localización de las bocaminas.

#### **Foto 1. Depósitos cuaternarios**

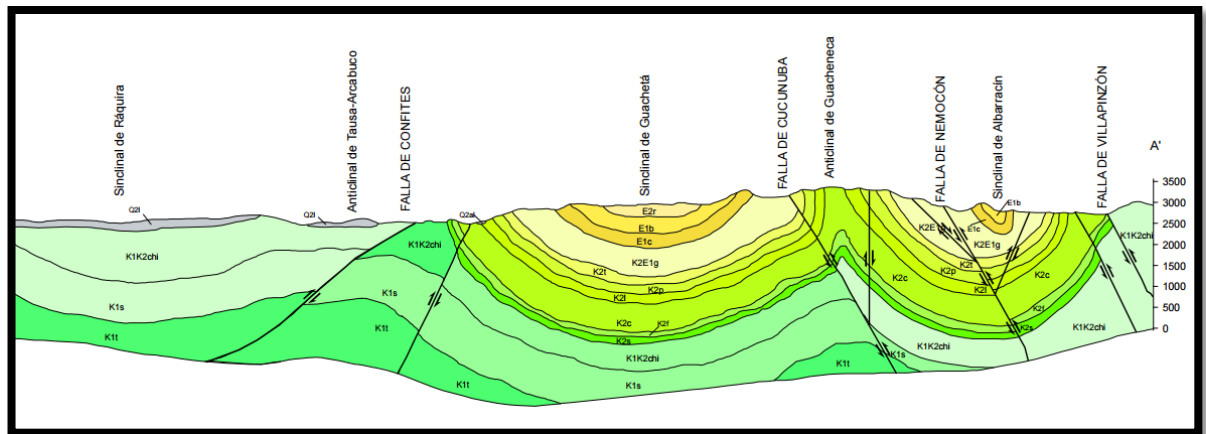


Fuente: Datos de Estudio



En la siguiente imagen se puede observar el corte geológico que resume el comportamiento estructural de las zonas objeto de estudio la cual se ve afectada principalmente por la falla de Cucunuba, el sinclinal y anticlinal de Guacheta

**Imagen 4. Corte Geológico Zona Guachetá – Ráquira**



Fuente: Servicio Geológico Colombiano

**Falla de Sabanetas o las puertas.** Esta falla es de tipo transversal, afecta la continuidad de la Formación Guaduas y por tanto los carbones del miembro inferior como del medio; presenta una dirección N - W y presenta un desplazamiento de aproximadamente 80m es en sentido horizontal, el bloque Oeste de la falla esta desplazado hacia el sur, esta falla se determinó por trabajos mineros antiguos cercano a las minas las Puertas y Sabanetas.

No es posible detectarla de forma inmediata en superficie en la formación Guaduas pero en la arenisca de la formación Guadalupe si es posible cartografiarla y evidenciar su desplazamiento. HUBACH, E. (1957).

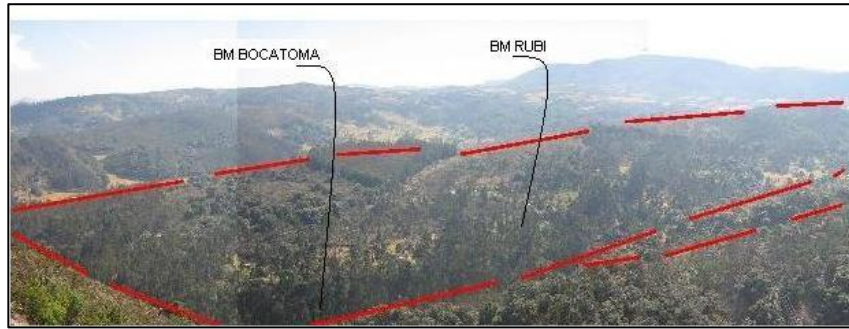
**Falla el Pipo.** Esta falla al igual que la anterior es de tipo transversal, con un desplazamiento del bloque Oeste de aproximadamente 60m en sentido sur, su dirección es hacia el N - W, afecta principalmente este contrato, esta falla desplaza los carbones de la formación Guaduas, y en el área de estudio se puede identificar por el fuerte cambio de buzamiento de la arenisca de la formación Guadalupe.

**Fallas locales menores.** Se generan una serie de plegamientos y fallas locales que afectan el área en una pequeña proporción, estas fallas son fallas de acomodamiento de las arcillas y con sus desplazamientos generan la pérdida de los mantos de carbón.



Estos desplazamientos en general son de algunos pocos metros que generan algunos escalonamientos de los mantos de carbón que son fácilmente identificables, ubicados y referenciados. Estas fallas menores son de tipo transversal, normal e inversas las cuales son comunes en las formaciones de tipo arcilloso como lo es la formación Guaduas. HUBACH, E. (1957).

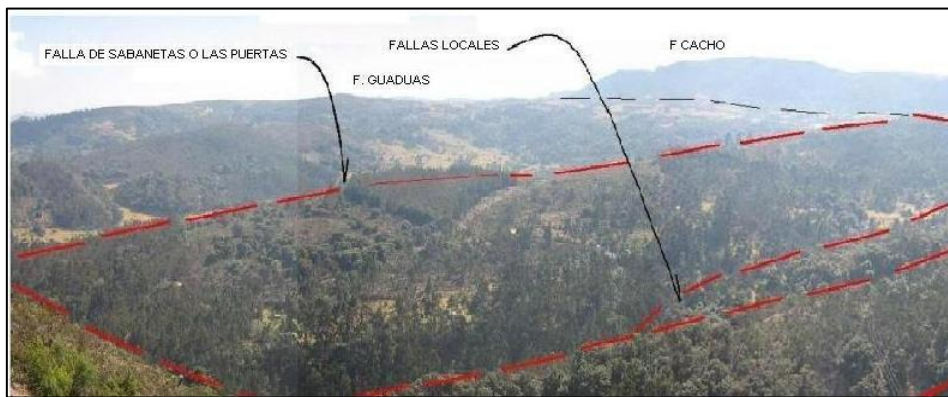
### Foto 2. Localización de bocaminas.



Fuente: Datos de Estudio

En las foto 2 y 3 se puede observar el flanco Oeste del Sinclinal Checua – Lenguazaque y algunas de sus fallas regionales, se observa también las fallas locales.

### Foto 3. Algunas Fallas regional y locales.



Fuente: Datos de Estudio

En la foto 2 se puede observar el trazo de algunas fallas de tipo local las cuales afectan la continuidad de los mantos y por lo tanto complica en gran medida la explotación.

## 1.7 GEOLOGÍA LOCAL Y DE LOS MANTOS DE CARBÓN.

Para el estudio Geológico que se realizó por intermedio de la Cooperativa Boyacense de Productores de Carbón de Samacá en sus diferentes zonas, las actividades de campo se orientaron principalmente a la cartografía geológica y a la definición de los diferentes mantos de carbón como se puede ver en la columna estratigráfica (ver anexo 1 y 2)

Los mantos de carbón fueron localizados en afloramientos y en bocaminas, la determinación de su continuidad lateral se apoya en la información obtenida a partir de la actividad minera (Ver anexo 3), relacionándola a los intervalos estratigráficos, lo cual permitió ubicar tanto en los mapas como en las columnas estratigráficas los diferentes mantos de carbón (ver anexo 5)

Los carbones con espesores considerados como económicos relacionados en el presente estudio, son descritos a continuación teniendo en cuenta los carbones del Guaduas inferior, sin embargo valen la pena aclarar que se presentan otras capas de carbón de poco espesor que en un momento determinado se pueden convertir en explotables ( ver anexo 1 y 2)

**1.7.1 Guaduas Inferior. Manto Cero.** Separado estratigráficamente a 115m del techo de la formación Guadalupe y del manto la cisquera a una distancia de 10-15m, es un manto con una intercalación de 0.4 a 0.05m de lutita carbonosa, este manto tiene un espesor variable de 0.5 a 1.10m contando la intercalación, es un manto blando, de aspecto lustroso, poco rentable económicamente.

**Manto La Cisquera.** Se localiza a 130m sobre el techo de la arenisca tierna de la Formación Guadalupe, corresponde a un manto limpio, de aspecto brillante, relativamente blando, con espesor de 0.90 a 1.10m, como referencia estratigráfica de éste se encuentra una capa de carbón de 0.1 a 0.4m de espesor a más o menos 2 a 4m por encima del manto, sin embargo hacia el sector de Guachetá ésta cinta de carbón presenta mayor espesor siendo económicamente explotable.

El respaldo superior lo constituyen Lutitas laminares grises relativamente blandas que incluyen pequeños lentes de carbón, el respaldo inferior se compone generalmente de arcillolitas de color gris poco compactas, en general presenta un rumbo entre N30° a 45° E y buzamiento hacia el SE.

**Manto Tesoro.** Localizado estratigráficamente a unos 60m sobre el manto La Cisquera, debido a la tectónica que se presenta en esta zona hacia la parte sur disminuye un poco esta separación entre mantos; este manto presenta un espesor de 0.90m, este manto es relativamente blando, semibrillante y limpio.

Los respaldos tanto superiores como inferiores lo constituyen arcillolitas grises un poco blandas, presentan el mismo rumbo y buzamiento que el manto la cisquera

**Manto Tesorito.** Suprayace al Manto Tesoro en una distancia estratigráfica de unos 3 a 4m, presentando un espesor promedio de 0.80 m, este manto es limpio, semibrillante y medianamente duro.

El respaldo inferior lo constituyen limolitas grises algo blandas y el superior constituido por arcillolitas bastante duras con laminación interna lenticular que tratan de gradar a areniscas cuarzosas de grano fino.

**Manto Gemela.** Son dos mantos que estratigráficamente están separados por unos 3m y sus espesores son muy parecidos.

**-Superior.** Se encuentra sobre el manto Tesorito a una distancia estratigráfica de 45 a 50m, en éste intervalo se presenta una capa de carbón de unos 0.4m con una intercalación en su parte media, este manto presenta un espesor de 0.85m, es limpio, semibrillante y un poco duro.

**-Inferior.** Por debajo del anterior manto, a unos 3m, se localiza otro manto de carbón, con un espesor promedio de 0.60 m, ésta capa al sur de Guachetá presenta un espesor promedio de 0.9 a 1m; es llamada Gemela Inferior. Sus respaldos lo constituyen arcillolitas semi-duras, mantiene el rumbo de N 45° E y el buzamiento promedio entre 30° y 40 ° al SE.

**Manto El Consuelo.** Este manto se localiza estratigráficamente entre 110 a 115m aproximados por encima del manto Gemela Superior, su espesor es de unos 0.60 a 0.80m, este manto es limpio, semibrillante y duro. Sus respaldos lo constituyen limolitas compactas y de resistencia aceptable.

**Manto El Piedro.** Se localiza estratigráficamente por encima del manto El Consuelo a una distancia de 15 a 20m aproximadamente, presenta un espesor total de 1.0m, presenta una intercalación de estéril de 0.15m hacia la parte media; (0.45 m de carbón, 0.15m de estéril y 0.40m en carbón), es semibrillante y bastante duro. El respaldo inferior es limolita bastante dura, en tanto que el respaldo superior está compuesto por arcillolitas algo carbonosas, lo que origina que su estabilidad sea regular.

**Manto El Rubí.** A una distancia estratigráfica de 15m este manto Suprayace al manto El Piedro, presenta un espesor de 0.9 a 1m, es limpio, semibrillante, medianamente duro. Sus respaldos son buenos, tanto el respaldo inferior como el superior están constituidos por arcillolitas limosas relativamente duras.

**Manto Bocatoma.** Estratigráficamente se localiza a 40 m por encima del manto El Rubí y a 110 m estratigráficos por debajo del techo de la arenisca guía la cual es el límite superior del miembro del Guaduas inferior; es un manto con buena



continuidad, presenta un espesor aproximado de 1.10 m, con una intercalación de lutitas carbonosas de 0.05 a 0.15m de espesor hacia la parte baja de éste, en algunos sectores éste manto alcanza los 1.50m de espesor, es brillante y relativamente duro.

Los respaldos se pueden considerar como buenos y están constituidos por limolitas bastante duras, tiene un manto de carbón de 0.1m por debajo a 3m del manto bocatoma que sirve de guía estratigráfica; a unos 2m encima del manto con un espesor de 0.4m se encuentra otra guía de carbón. Además se ubica una arenisca guía arcillosa de unos 3m de espesor y separada unos 2 m.

A nivel local, este manto es el estudiado en el presente proyecto y aunque se presentan fallas, estas son de tipo local y de pequeños desplazamientos, el espesor de este manto es de 1.0m y los respaldos son de resistencia regular.

**Manto la pérdida.** Se ubica estratigráficamente sobre el manto Bocatoma a una distancia entre 35 a 40m aproximadamente, este manto tiene un espesor entre 0.6 a 1.0m, actualmente en la zona este manto es económicamente explotable a pesar de las intercalaciones de estéril que posee.

A nivel local, este manto es el estudiado y proyectado pues es el manto que se explota en la mina El Rubí, el espesor de este manto es de 1.0m y los respaldos son de resistencia regular.

Sobre anteriores mantos se puede apreciar otras cintas de carbón las cuales no son explotables y se localizan a unos 39m por encima del manto anterior y sobre estas cintas a unos 11m estratigráficamente se tiene la arenisca La Guía, la cual es el límite entre el miembro inferior y el medio de la formación Guaduas.

Estratigráficamente en este estudio aflora principalmente el miembro del Guaduas inferior que se encuentra entre la arenisca Tierna y la arenisca La Guía, donde se presentan intercalaciones de arcillolitas, lutitas, areniscas y mantos de carbón explotables como se mencionaron anteriormente. Ver columna estratigráfica.

Estratigráficamente los mantos de carbón hacia este sector presentan adelgazamiento no muy marcado pero se pierden algunos mantos que en la parte norte son guías para los mantos explotables, actualmente las labores se adelantan en los mantos mencionados en el cálculo de reservas anteriormente. Esta nomenclatura se reflejada en los planos que posteriormente serán presentados dentro del sector minero en Samacá y Raquira.

## 1.8 PROCEDENCIA ACTUAL DEL CARBON EXPLOTADO

El carbón explotado por la empresa Intercarbon Mining S.A.S proviene de cinco (5) centros de producción minera; tres de ellos ubicados en la zona Raquira, los dos restantes en la zona Guacheta presentando las siguientes características generales:

### 1.8.1 Mina la Peña

**Foto 4. Bocamina Mina La Peña**



Fuente: Autor del proyecto.

La mina la Peña que es el punto más crítico en la zona debido a la antigüedad de las labores mineras teniendo tres niveles de longitudes entre los 100 a 500m y al complejo sistema de estructural que la atraviesa debido a que se encuentra dentro del sinclinal Checua Lenguazaque, se extrae el carbón por medio del método ensanche de tambores en el rumbo, la estructura de sostenimiento utilizada es escalera sencilla o doble dependiendo el grado de fragmentación y las presiones en cada manto; esta mina posee uno de los mejores carbones de la región debido a sus características generales como baja volatilidad, petrográficas y aglutinantes. Actualmente en esta mina se extraen 1600 toneladas de carbón de los siguientes mantos:

**Manto la Cisquera:** con un espesor aproximado de 0.9 m el respaldo inferior está constituido por arcillolitas de color pardo a grises y el respaldo superior con arcillolitas pardas de fragmentación entre baja y media presenta un rumbo aproximado de N 68° E buzando 55° hacia el sur- este; en general es un manto muy limpio con contenido de cenizas entre 7 y 9 %; hacia el norte sus respaldos presentan mayor grado de fragmentación hacia el respaldo inferior debido a un suncho que se encuentra a una distancia estratigráfica de 0.30 a 0.50 m, por otro

lado hacia el sur presenta respaldos competentes lo cual permite aumentar la calidad del carbón extraído y la seguridad del personal que se encuentra en dichas labores.

**Manto tesoro:** posee un espesor aproximado de 0.55 m, el respaldo superior e inferior se constituye por arcillolitas grises de alta fragmentación, posee en su parte inferior un pegue de arcillolitas no consolidadas que se desprenden con facilidad en granulometría indetectable a simple vista, posee un rumbo de N39°E buzando 55° al sur este; debido al grado de fragmentación del respaldo inferior de arcillolitas no consolidadas este carbón presenta problemas en cuanto a su contenidos de cenizas entre 11 y 14% en volumen debido a la explotación.

**Manto tesorito:** con un espesor aproximado de 0.6 m posee como respaldo superior e inferior arcillolitas grises de fragmentación baja. Presenta un rumbo de N50°E buzando 44° hacia el sur este. En general es un manto limpio con bajas impurezas teniendo porcentajes de cenizas entre 6 y 9% en volumen.

### 1.8.2 Mina Pedro

**Foto 5. Bocamina Mina Pedro**



Fuente: Autor del proyecto.

La mina Pedro posee un inclinado de 260 m soportado con arcos de acero de 5m<sup>2</sup> de sección libre con una inclinación que oscila entre los 60°, la mina se divide en dos niveles principalmente en los cuales se llevan dos métodos de explotación: ensanche de tambores en el rumbo y corte abierto realizando canastas perdidas cada cinco (5) calles; como elemento estructural en los cortes de explotación se utiliza escalera sencilla debido a la calidad de los respaldos. En esta mina se explotan actualmente dos (2) mantos de buena calidad y con respaldos

competentes que garantizan una explotación segura y con altos estándares de calidad, actualmente se producen 1900 toneladas de los siguientes mantos:

**Manto Pedro:** con un espesor promedio de 0.66 m cuenta con un rumbo: N42°E buzando 60° hacia el Sur Este, sus respaldos son de arcillolitas grises en piso y techo altamente competentes y con bajo grado de fracturamiento. Es un manto con contenido de cenizas bajo teniendo así la calidad que exige la industria actualmente teniendo un máximo de 9.5% de cenizas.

**Manto Rubí:** Cuenta con un espesor promedio de 0.85 m, cuenta con un rumbo de N 55°E buzando 54° hacia el Sur Este, en su respaldo superior cuenta con una pequeña capa de arcillolitas que no es constante en la explotación y la suprayacen arcillolitas grises con bajo grado de fracturamiento, en su respaldo inferior se tienen arcillolitas grises compactas. Al igual que el manto Pedro este es un manto con contenido de cenizas bajo teniendo así la calidad que exige la industria actualmente teniendo un máximo de 9.5% de cenizas.

### 1.8.3 Mina Bocatoma

**Foto 6. Bocamina Mina Bocatoma**

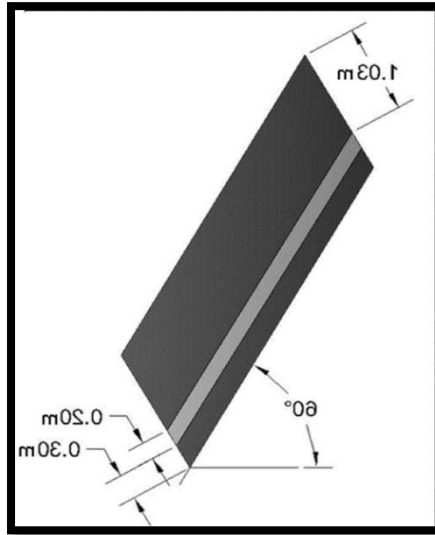


Fuente: Autor del proyecto.

La mina bocatoma cuenta con un inclinado de 230 m fortificado en arcos de acero con 5m<sup>2</sup> de sección libre, descargue con el sistema skip con malacate, posee dos niveles y solo uno de ellos en explotación hacia el norte ya que hacia el sur se llegó a los límites de la concesión, actualmente se trabaja como método de explotación ensanche de tambores en el rumbo y se extraen 1600 toneladas de carbón del manto bocatoma el cual posee un espesor promedio explotable de 1.03 m como se observa en la figura los 30 cm por debajo de la intercalación de

arcillolita se deja sin explotar por cuestiones de calidad, teniendo hacia el Norte un Rumbo o dirección promedio de N 44°E buzando 63° hacia el Sur- Este y hacia el sur un rumbo o dirección de N 62° E buzando 55° hacia el sur este.

**Figura. 5. Vista lateral manto Bocatoma**



Fuente: Autor del proyecto.

El principal problema que se observa en cuanto a la calidad del carbón extraído, es la intercalación que se encuentra en la parte inferior del manto explotable, ya que en labores de preparación como lo son la apertura del tambor y su posterior ensanche, esa intercalación se desprende producto de la dilución y de su alto grado de fracturamiento.

#### 1.8.4 Mina La Mana

**Foto 7 Bocamina Mina La Mana**



Fuente: Autor del proyecto.

La mina la Mana posee un inclinado de 230 m de longitud, posee dos niveles, el segundo nivel actualmente en explotación, posee problemas con gases ya que hay presencia de metano en la explotación minera. El inclinado principal esta entibado con puertas en basinola, sistema de descargue con skip, y una producción mensual de 1900 ton; actualmente posee cuatro (4) mantos en explotación:

**Manto Cisquera:** Cuenta con un espesor que varía entre los 0.8 a 1.4m

con un buzamiento de 53° aproximadamente una cuelga actual de 120 m, se maneja sistema de explotación a corte abierto con canasteo (canastas perdidas) cada 5m, en cuanto a sus respaldos posee respaldos competentes en bajo grado de fragmentación debido a ello se tiene una estructura de sostenimiento con escalera sencilla, en cuanto a la calidad del producto que se extrae de este corte el carbón está en un rango entre 8 y 10% de cenizas, esto varía según las condiciones operacionales.

**Manto Tesoro:** Cuenta con un espesor que oscila entre los 0.6m y un buzamiento promedio de 55°, su respaldo inferior presenta un grado medio de fracturamiento presentando problemas en su explotación y en la calidad del carbón extraído, se utiliza como estructura de sostenimiento escalera sencilla con tablilla al techo, el método de explotación implementado en ensanche de tambores en el rumbo.

**Manto Milagro:** este manto cuenta con espesor que varía entre los 0.5 y 0.6m y un buzamiento cercano a los 57°, en algunos casos presenta problemas en su explotación por su cercanía estratigráfica con el manto tesoro; actualmente se explota este manto con el sistema de ensanche de tambores en el rumbo con una estructura de sostenimiento de escalera sencilla con tablilla al techo para prevenir problemas aunque los respaldos de este manto son competentes y apropiados para la explotación

**Manto Aliso:** este manto posee un espesor promedio de 0.5 m con un buzamiento cercano a los 57° , en cuanto a sus respaldos son arcillolitas altamente compactas y competentes, sin fracturamiento, a ello de debe su calidad, en este manto se maneja el método de explotación de ensanche en tambores en el rumbo, con estructura de sostenimiento escalera sencilla



### 1.8.5 Mina Laberinto

**Foto 8. Bocamina mina Laberinto**



Fuente: Autor del proyecto.

Cuenta con un inclinado entibado en puertas en basinola con una longitud de 180m, es una mina reciente, tiene un nivel de aproximadamente 350 m, sistema de descargue por skip, tiene un manto en explotación del cual se producen 600 toneladas al mes, el manto que actualmente explotan es:

**Manto cisquera:** este manto tiene un comportamiento excelente en cuanto a respaldos y calidad del carbón extraído, posee un espesor que varía entre 0.55 y 0.7 m y un buzamiento cercano a los 60°, actualmente se explota por el método de explotación ensanche de tambores en el rumbo, con una estructura de sostenimiento con escalera sencilla con tablilla al techo para prevenir accidentes por desprendimientos.

### 1.8.6 Destino actual del carbón explotado.

**Foto 9. Planta Castilla COQUECOL S.A.C.I**



Fuente: Autor del proyecto.

Actualmente INTERCARBON MINING S.A.S posee convenios comerciales con empresas como COQUECOL S.A.C.I la cual acopia el producto de las minas pertenecientes a INTERCARBON MINING S.A.S en su planta Castilla ubicada en el municipio de Guacheta Cundinamarca donde los carbones acopiados son sometidos a estrictos estándares de calidad garantizando así un producto que cumple con los estándares de calidad internacionales; dicho producto es llevado a puerto y exportado hacia puertos Brasileños.

Por otro lado ya que el producto INTERCARBON MINING S.A.S es de alta calidad es apetecido comercialmente por empresas como CARBONES ANDINOS S.A y MILPA S.A a las cuales se les suministra parte de la producción mensual de los centros de producción minera de INTERCARBON MINING S.A.S.



## **2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LOS CARBONES EXPLOTADOS POR INTERCARBON MINING S.A.S.**

### **2.1 MUESTREO**

Con la realización del estudio geológico se adelantó la actividad del muestreo para la evaluación de la calidad de los carbones.

Las muestras se tomaron directamente del manto en explotación de acuerdo con la norma ASTM D 4596. Se recolectaron 20 kg aproximadamente de cada manto en muestras de canal y de producción, reduciendo su tamaño a una granulometría menor a 3 pulgadas (7,62 cm) tratando de generar la menor cantidad de finos y minimizando la oxidación, que puede modificar las características fisicoquímicas de los carbones y especialmente sus propiedades reológicas, las muestras se redujeron de tamaño siguiendo las normas ASTM D 2013-86 [65] para extraer una muestra representativa de 5 Kg con destino a los análisis fisicoquímicos, reológicos y petrográficos. Las muestras para caracterización como el carbón, se almacenaron en empaques plásticos, eliminando la mayor cantidad de aire al empacar y utilizando un flujo de nitrógeno durante el sellado para generar una atmósfera inerte y asegurar la inalterabilidad de las muestras durante el tiempo por efecto de la oxidación, la humedad y la temperatura. ALARCÓN, G (2011)

Los sitios de muestreo se relacionan de acuerdo a los trabajos mineros del área del contrato, el sistema de muestreo se realizó por el sistema de canal en frentes activos y representativos, se trató de cubrir todos los mantos de carbón explotables principalmente las muestras fueron marcadas con el nombre del manto y el número de contrato. Posteriormente fueron analizadas por un laboratorio externo a la cooperativa y los resultados certificados se muestran a continuación, teniendo en cuenta que los principales análisis son los inmediatos como, cenizas, materias volátiles, poder calorífico, índice de hinchamiento y azufre.

**2.1.1 Tipo de muestreo.** Para la caracterización geológica y fisicoquímica de los carbones explotados por INTERCARBON MINING S.A.S se utilizaron dos tipos de muestreo buscando tener un valor característico de cada uno de los mantos en cuanto a sus condiciones físicas y químicas en cada uno de ellos; los métodos de muestreo seleccionados son:

**Muestreo de producción:** Este muestreo se refiere al carbón que ha sido arrancado o extraído por operaciones mineras. Este muestreo puede ser de carbón en reposo (estacionario) o de una corriente de carbón (carbón en

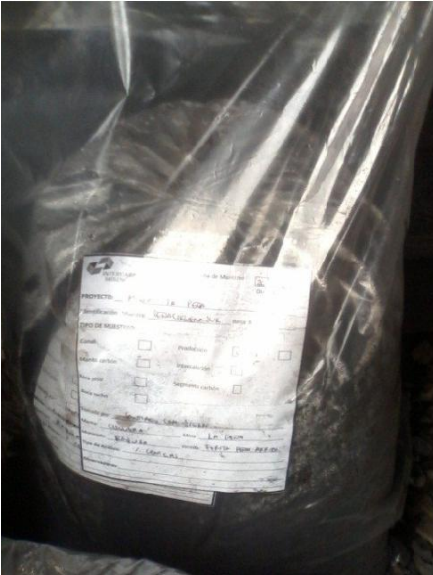
movimiento), por otro lado se tomaron también muestras en pilas aleatoriamente según lo establecido por la norma ASTM D –2234. ALARCÓN, G (2011)

Antes de tomar la muestra debe decidirse acerca del tamaño requerido para los diferentes ensayos.

Las muestras deben ser representativas de la mayor cantidad de carbón producido y con un mínimo de 12 incrementos cada una. Se debe incluir más de una muestra, sobre todo al considerar que se deben analizar aparte varias características del carbón o del sistema de explotación, por ejemplo, cuando hay varios métodos de minería, minería selectiva, mantos anómalos, carbón meteorizado en algún porcentaje, etc.

## Muestreo de producción

### Foto 10. Muestra tomada y formato de muestreo elaborado



Fecha de Muestreo	
Día	Mes Año
PROYECTO: _____	
Identificación Muestra: _____	Bolsa N° _____
TIPO DE MUESTREO:	
Canel <input type="checkbox"/>	Producción <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>
Manto carbón <input type="checkbox"/>	Intercalación <input type="checkbox"/>
Roca piso <input type="checkbox"/>	Segmento carbón <input type="checkbox"/>
Roca techo <input type="checkbox"/>	
Tomada por: _____	
Manto: _____	Mina: _____
Municipio: _____	Vereda: _____
Tipo de Análisis: _____	
Observaciones: _____	

Fuente: Autor del proyecto.

Para este caso se tomaron muestras de las teclas de descargue en cada uno de los cortes o frentes de producción obteniendo datos característicos de cada corte dependiendo las condiciones geológicas en las que se encuentre, para ello se elaboró un formato según las normas generales para el muestreo y análisis de carbón, ECOCARBON, 1995.

## MUESTRA DE CANAL

Para la toma de una muestra de canal, se debe seleccionar un frente fresco (en producción) de carbón, en un lugar donde el carbón no se haya expuesto a la

atmósfera. Un frente de producción apto para el muestreo de canal, es el interior de una mina en la cual, permanentemente se esté arrancando el carbón.

Los siguientes pasos se deben seguir para la toma de una muestra de canal:

El sitio a muestrear debe estar perfectamente localizado, en lo posible se hará el respectivo levantamiento topográfico.

- Describir, registrar y levantar una columna local del manto de carbón, con las observaciones geológicas, descripción macroscópica del carbón, posición de las intercalaciones separables y no separables y tipos de respaldos, techo y piso.

Se buscará tomar las muestras en un sitio que por conocimiento anterior permita establecer que no se trata de una zona de adelgazamiento o engrosamiento, así mismo, se debe descartar el muestreo en zonas de fallas y en la vecindad a intrusiones cercanas a las zonas de meteorización.

- La muestra se obtiene por la elaboración de una canal mediante un corte uniforme y continuo.

Se debe lograr una superficie lo más regular posible.

Se debe limpiar bien la superficie a muestrear hasta una profundidad de 5 cm como mínimo. En el caso particular y a juicio del muestreador cuando fuere necesario tomar la muestra en un frente de mina inactiva, la profundidad deberá ser mayor de 10 cm.

Marcar los lados del canal con tiza así como los materiales y cuerpos locales no representativos al carbón y los cuales deben destacarse tales como intercalaciones separables, nódulos o concentraciones de minerales, etc.

A continuación se procederá a adelantar una escrupulosa limpieza del piso en el sitio de muestreo a fin de evitar cualquier posibilidad de contaminación con carbón anteriormente arrancado.

Extender sobre el piso previamente, un hule o lona de tamaño y calibre apropiado, sobre el cual, caerá la muestra que se tome en el sitio, buscando con ello aislarla de la humedad o impurezas provenientes del piso.

Una vez cumplidos los pasos anteriores, se procederá a cortar un canal en el carbón perpendicular al techo y hasta la base del manto. Este canal tendrá un ancho de 15 cm por 8 cm de profundidad.

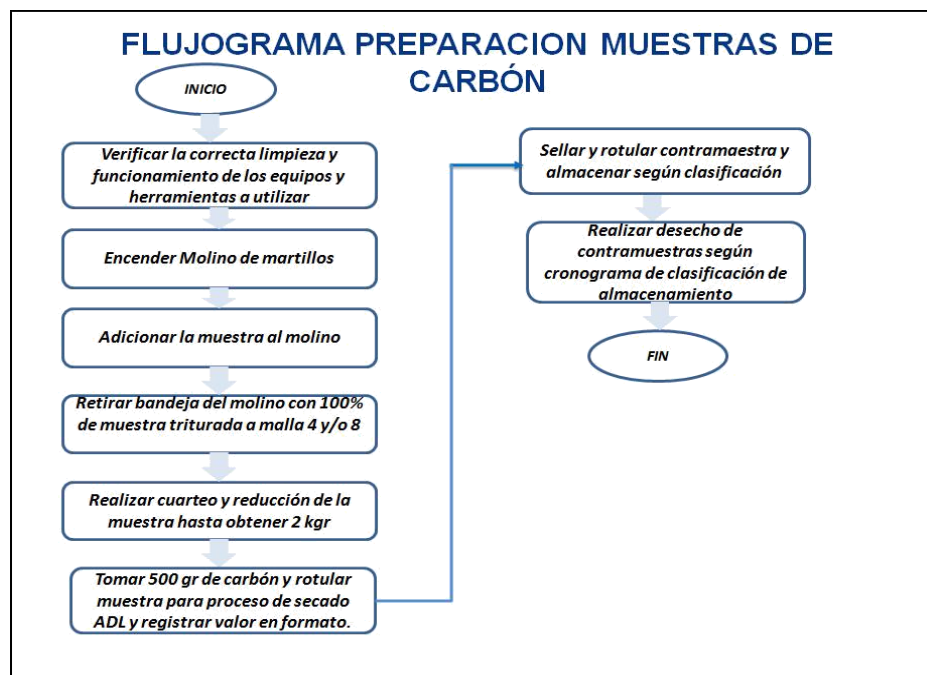
Se toma la muestra, picando de arriba hacia abajo, evitando la pérdida de finos, cuidando de no profundizar más en un sitio que en otro y hasta obtener una muestra aproximada de 5 kg por cada 30 cm de espesor del manto.

- Se muestrearán mantos de carbón con espesores mayores o iguales a 0.6 metros, si no existe otra indicación. BAEZ, J (2003)

**2.1.2 Preparación de la muestra.** Las muestras se prepararon siguiendo el diagrama para preparación de muestras emitido y publicado por ECOCARBON en las normas generales para el muestreo y análisis de carbón, ECOCARBON, 1995.

Luego de que se recibe la muestra en el laboratorio de la empresa COQUECOL S.A.C.I ubicado en el municipio de Samacá, vereda Salamanca se prepara la muestra y se tienen 10 kg como muestra de laboratorio se procede de la siguiente manera

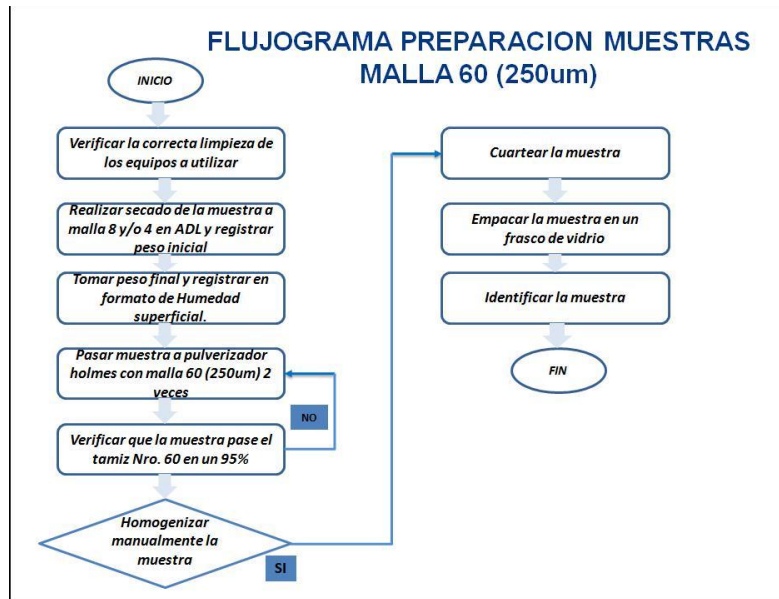
**Figura. 6. Flujograma preparación de muestra**



Fuente: Datos de Estudio

En la figura anterior podemos observar el procedimiento correcto para preparar la muestra de acuerdo con la norma ASTM y los lineamientos propios de la empresa

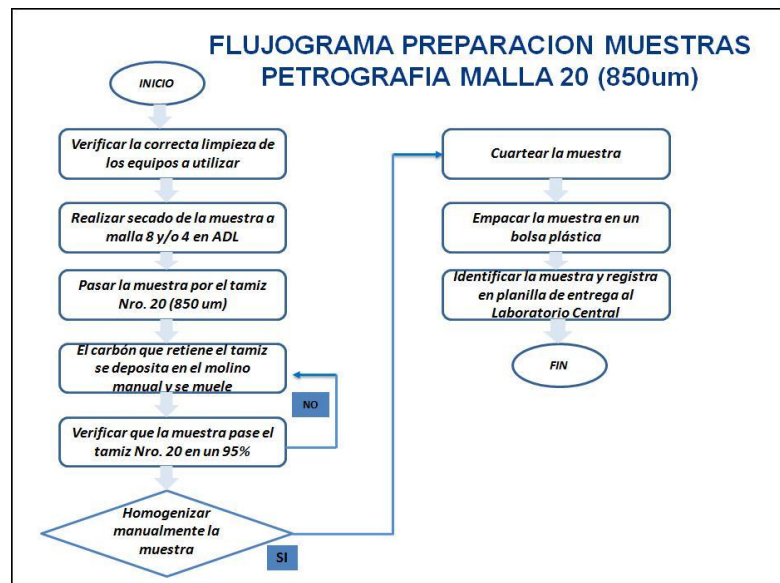
**Figura. 7. Flujograma preparación de muestras malla 60 (250 um)**



Fuente: Datos de Estudio

En la figura 6 observamos el procedimiento para preparar la muestra para los análisis próximos como lo son contenido de cenizas, materia volátil, humedad relativa. Luego de tener la granulometría que exige la norma ASTM se procede a llevar al laboratorio para sus respectivos análisis.

**Figura. 8. Flujograma preparación muestras petrografía**

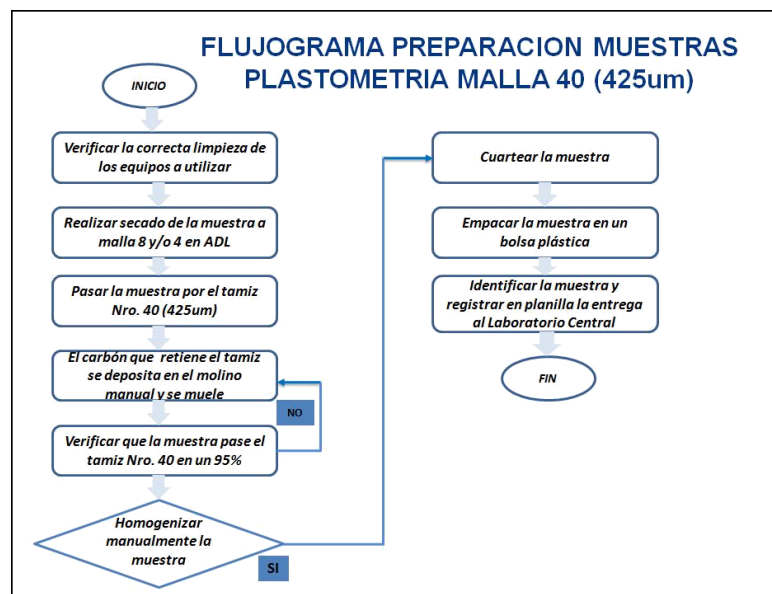


Fuente: Datos de Estudio

Para el caso de los análisis petrográficos se debe manejar una granulometría diferente ya que los granos de carbón para este caso tienen que ser observables en detalle para que los instrumentos de análisis petrográfico tengan una lectura más apropiada a la realidad ya que hay macerales muy débiles que al momento de la molienda se pueden afectar.

En el caso de los ensayos de dilatometría y plastometría se debe tener un tamaño de partícula malla 40 o 425  $\mu\text{m}$  y seguir el procedimiento que se observa en la figura 7 para su correcta preparación.

**Figura. 9. Flujograma preparación muestras reología**



Fuente: Datos de Estudio

## 2.2 ANÁLISIS INMEDIATO

**2.2.1 Humedad.** En la caracterización se tienen en cuenta tres tipos de humedad ya que cada una de ellas es fundamental en el estudio de sus características, ya que este ensayo influye en el comportamiento del carbón en diferentes usos industriales como la densidad de carga en la coquización. Estas humedades son:

**Humedad libre:** Es la pérdida por el carbón hasta alcanzar el equilibrio aproximado con la atmósfera del lugar donde se realiza la preparación. Se adhiere mecánicamente al carbón depende de las operaciones que sufre el carbón y de las condiciones a las cuales se expone. Esta agua conserva sus propiedades físicas y químicas habituales. Después de eliminada esta humedad se encuentra el carbón en estado “secado al aire”.

**Humedad residual:** (ASTM D –3173) localizada en el interior de los poros y capilares, retenidas por fuerzas de absorción y condensación capilar. Es insensible a las condiciones atmosféricas se considera una característica básica del carbón relacionada con el Rango, después de la remoción de esta humedad el carbón está en estado “seco”

La humedad residual depende de las condiciones atmosféricas del laboratorio, (temperatura, presión, humedad relativa) por lo tanto, los resultados no son iguales en los laboratorios, especialmente en muestras de carbón con un alto contenido de humedad de equilibrio. Si se quieren comparar resultados de muestras iguales obtenidos en diferentes laboratorios hay que pasar los valores a base como se recibió o a base seca.

**Humedad Total** (ASTM D –3302, ISO 589). Es la suma de la humedad superficial y la humedad residual. Se llama también humedad comercial y “As –Received Moisture” o humedad como se recibe. Se calcula de la siguiente formula. BAEZ, J (2003):

$$Hut = HuS + HuR * \frac{100 - HuS}{100}$$

HuT: Humedad total en %peso

HuS: Humedad libre o superficial en %peso

HuR: Humedad residual en %peso

En primer lugar la muestra se prepara (ver foto 11) y es almacenada para que se seque al aire y así hallar la humedad superficial, por la diferencia de pesos.

**Foto 11. Muestra lista para análisis próximos**



Fuente: Autor del proyecto.

La muestra se llevó al laboratorio, fue preparada según la norma ASTM (observar figura 6 y 7) luego se toma un gramo de la muestra preparada, esta se introduce en el crisol y analizado por el equipo TGA

**Foto 12. Crisol equipo TGA LECO**



Fuente: Autor del proyecto.

En la foto anterior observamos el crisol especial para el equipo TGA de LECO, en este se vierte 1 g de muestra representativa, y luego de una hora arroja el resultado al equipo de la humedad relativa, y sigue con los ensayos de materia volátil y cenizas.

**Foto 13. Equipo de laboratorio TGA de LECO**



Fuente: Autor del proyecto.



Luego de los análisis en el equipo leco de cada una de las muestras representativas se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadro 1. Resumen del análisis de humedad en las muestras.**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	HUMEDAD RESIDUAL (%)	HUMEDAD LIBRE (%)	HUMEDAD TOTAL (%)
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	0.87	5.30	4.37
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	0.74	1.30	0.95
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	0.89	3.40	2.92
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	0.80	2.03	1.59
RAQUIRA	PIEDRO	RUBI	0.83	4.28	3.40
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	0.85	1.71	1.43
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	0.83	2.99	2.40
GUACHETA	LA MANA	ALISO	0.69	2.35	1.58
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	0.72	1.75	1.24
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	0.72	1.85	1.31
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	0.72	2.62	1.84

Fuente: Datos de Estudio

La humedad total se halló por medios aritméticos según se explicó anteriormente, los datos obtenidos clasifica el carbón como carbón bituminoso, ya que no supera el rango de 5% según la norma ASTM.

**2.2.2 Cenizas.** El contenido de cenizas indica la cantidad de residuos que quedan después de la combustión de carbón, determinando así el porcentaje de material incombustible, el bajo rendimiento térmico de los reactores por pérdida de calor entre otros factores que alteran el comportamiento térmico de los carbones en un horno de coquización.

Este ensayo se realizó según la norma NTC 1859 y la norma ASTM D 2795 Test method for analysis of Coal and coke ash.

Las cenizas se determinan pesando el residuo que queda después de quemar el carbón o el coque en condiciones estrictamente controladas de peso de la muestra, temperatura tiempo, atmosfera y especificaciones del equipo

En esta combustión desaparece la materia orgánica y la materia mineral sufre transformaciones:

1. Pérdida del H<sub>2</sub>O de constitución de los silicatos
2. Descomposición de carbonatos  $\text{CaCO}_3 + \Delta \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Oxidación de sulfuros  $2 \text{FeS}_2 + 5 \text{SO}_2 \rightarrow 4 \text{SO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

Las sustancias que forman las cenizas son de tres tipos:

1. Cenizas de sustancias inherentes que incluyen elementos inorgánicos combinados con la sustancia orgánica del carbón. El origen de estas cenizas es singenético y proviene de las plantas que dieron lugar al carbón.
2. Cenizas de materia mineral como las arcillas, carbonatos, sulfuros, óxidos, cuarzos, fosfatos y minerales pesados.
3. Cenizas de dilución (operacional) que son los estériles de los respaldos que durante la operación minera se arrancan conjuntamente con el carbón. Esta dilución puede incrementar mucho los porcentajes de cenizas (BAEZ, 2003).

Ya que se tomaron dos tipos de muestras se obtuvieron datos de los dos tipos variando su composición de cenizas por caudas operacionales en el caso de la muestra de producción ya que varía según el método de explotación y todas sus variables operativas, para en caso de la muestra de canal esta no tiene ningún tipo de contaminación de origen operacional debido a ello su porcentaje en cenizas es bajo en comparación con los resultados del muestreo de producción; se tomaron diferentes muestras las cuales fueron analizadas en el equipo TGA de LEGO y al final se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadro 2. Resumen cenizas muestreo canal**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	% CENIZAS
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	9.41
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	8.85
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	6.51
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	3.85
RAQUIRA	PIEDRO	RUBI	6.93
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	8.24
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	4.78
GUACHETA	LA MANA	ALISO	7.16
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	7.24
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	6.39
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	5.93

Fuente: Datos de Estudio

En el cuadro anterior observamos el contenido de cenizas inherentes y provenientes de materia mineral, ya que la muestra se toma de los niveles en los frentes de desarrollo, el carbón no posee ninguna contaminación operacional.

**Foto 14. Equipo TGA y muestra preparada para análisis.**



Fuente: Autor del proyecto.

Las muestras para laboratorio tanto de muestreo de canal como de producción se llevaron se prepararon y se analizaron en las instalaciones de Coquecol S.A.C.I en su laboratorio en Salamanca por medio del equipo TGA de LECO obteniendo los siguientes resultados:

**Cuadro 3. Resumen comparativo cenizas producción ash probe laboratorio**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	ASH PROBE	% CENIZAS		
				LABORATORIO	DIFERENCIA	CPS
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	6.8	7.2	0.4	88.51
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	10.7	11	0.3	97.22
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	7.2	6.5	-0.7	86.69
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	6.4	6.8	0.4	84.59
RAQUIRA	PIEDRO	RUBI	9.4	9.3	-0.1	87.56
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	10.5	11	0.5	98.08
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	7.5	6.8	-0.7	75.23
GUACHETA	LA MANA	ALISO	8.1	8.6	0.5	79.56
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	10.5	11.1	0.6	97.46
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	9.3	9.8	0.5	88.74
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA	5.3	7.1	1.8	74.84
		LABERINTO				

Fuente: Datos de Estudio

En el cuadro anterior podemos ver el contenido de cenizas con un análisis comparativo que se llevó a cabo con la misma muestra representativa de cada manto, obteniendo que el análisis con el equipo ash probe mantiene una variabilidad respecto al análisis de laboratorio, haciendo necesaria una calibración del ash probe; los conteos por segundo (CPS) obtenidos del equipo ash probe son señales radioactivas que el equipo envía para conocer el contenido de potasio que hay en la muestra, ya que más del 70% de las cenizas del carbón tienen contenido de potasio y como se puede ver en el cuadro anterior los CPS son proporcionales al contenido de cenizas en el laboratorio, de allí parte la re calibración del equipo.

Para fines comerciales se tomara en cuenta las muestras de producción y los resultados de laboratorio para la caracterización en este ensayo, ya que son datos reales y actuales de la producción actual y las variaciones en su contenido se deberán a cambios operacionales que podrán ser corregidos o mejorados en el futuro.

**2.2.3 Materia volátil.** Para el análisis de materia volátil se tuvo en cuenta la norma NTC 2018 y ASTM D 3175, Las materias volátiles son desprendimientos gaseosos de la materia orgánica e inorgánica durante el calentamiento exigido por la norma. A medida que el carbón se calienta, se desprenden productos gaseosos y líquidos. Existe un desprendimiento bajo a temperaturas bajas, pero aumenta a partir de los 550°C aproximadamente. Los constituyentes gaseosos son principalmente agua, hidrógeno, metano, amoníaco, benceno, tolueno, naftaleno y vapores de alquitranes (BAEZ, 2003).

En la foto 13 se muestra ya el crisol tapado luego de verter la muestra representativa dentro, luego de ello se procede a poner el crisol debidamente tapado en el horno Hoskin según lo establecido por la Norma ASTM D 3175

**Foto 15. Crisol con tapa para análisis materia volátil**



Fuente: Autor del proyecto.

**Foto 16. Horno Hoskin**



Fuente: Autor del proyecto.

Se tomaron muestras representativas de cada uno de los matos tomando realizando el ensayo y tomando un valor máximo y mínimo característico en cada muestra se obtuvieron los diferentes resultados.

**Cuadro 4. Resumen contenido materia volátil de cada manto.**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	MATERIA VOLATIL (%)	
			MINIMO	MAXIMO
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	21.35	22.2
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	24.29	24.85
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	21.34	21.43
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	27.55	27.74
RAQUIRA	PIEDRO	RUBI	26.32	26.67
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	27.68	28.33
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	19.98	20.11
GUACHETA	LA MANA	ALISO	21.69	22.3
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	20.15	20.19
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	18.30	18.94
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	17.92	18.11

Fuente: Datos de Estudio

**2.2.4 Carbono fijo.** El ensayo de carbono fijo se realizó de manera aritmética, ya que el carbono fijo es la parte que no es volátil y que quema en estado sólido. Se encuentra en el residuo de carbón que queda en el crisol luego de determinadas las materias volátiles. Si a este residuo se le restan las cenizas se obtiene el carbono fijo, por lo que generalmente el porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo sino por diferencia, una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles.

El carbono fijo se incrementa con el rango.

$$\% \text{carbono fijo} = 100 - (\text{humedad residual} + \text{Cenizas} + \text{Materia volátil})$$

**Cuadro 5. Resumen resultados contenido Carbono Fijo.**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	CARBONO FIJO (%)
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	64.45
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	65.63
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	69.19
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	66.91
RAQUIRA	PIEDRO	RUBI	63.18
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	62.33
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	72.77
GUACHETA	LA MANA	ALISO	69.26
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	71.35
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	73.69
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	74.22

Fuente: Datos de Estudio

## 2.3 ANALISIS PETROGRÁFICO

Son las sustancias componentes de los tejidos vegetales de los cuales proviene el carbón. Debido a procesos metamórficos estos componentes sufren descomposición y transformación y son identificados petrográficamente por las características de forma, color y relieve que presentan. Estos se dividen en 3 grupos así:

**Vitrinita:** La vitrinita es el principal componente maceral en la mayoría de los carbones, presente en un orden de 50% a 90%. Es de aspecto vítreo, color gris al microscopio y un nivel de reflectancia intermedio respecto a los demás componentes macerales.

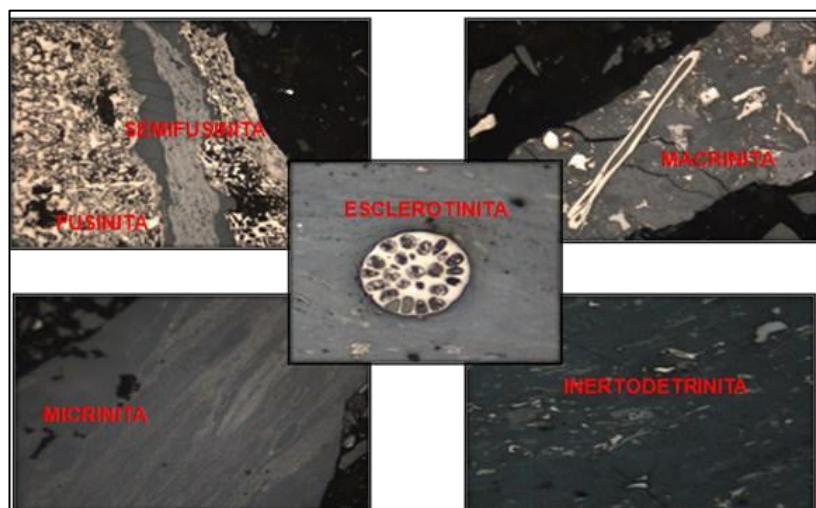
### Imagen 5. Vitrinita



Fuente: Autor del proyecto.

**Inertinitas:** Es un grupo maceral que presenta una marcada tendencia inerte, especialmente en procesos de carbonización. Los macerales inertiníticos tienen como particularidad un alto contenido de carbono en forma de compuestos aromáticos, especialmente de anillos bencénicos fusionados, lo que le otorga la mayor estabilidad ó menor grado de reactividad, un menor contenido de materia volátil y mayor poder reflectivo; al microscopio presentan color blanco.

### Imagen 6. Inertitas

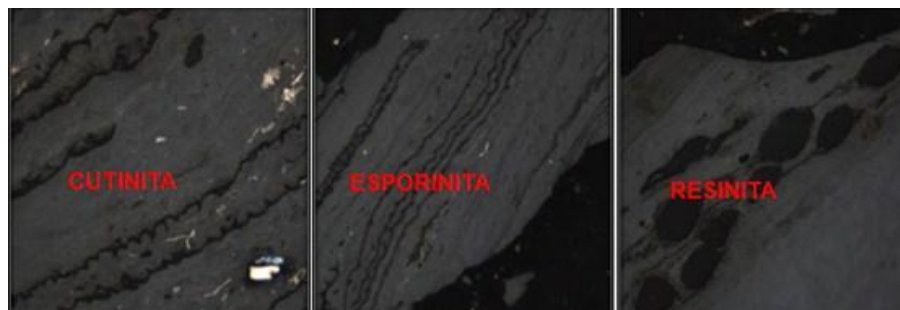


Fuente: Autor del proyecto.

**Excinitas o Liptinitas:** Es un grupo maceral caracterizado por su alto contenido de material volátil y moléculas de tipo alifático, que hacen de éste el maceral más reactivo y de mayor poder calorífico, presentan en un mismo carbón menor reflectancia que las vitrinitas; su color al microscopio es negro.



**Imagen 7. Excinitas**



Fuente: Autor del proyecto.

**2.3.1 Preparación de la muestra.** Para la preparación de la muestra para análisis petrográficos se toma una muestra de 500g malla 20 en granulometría.

**Foto 17. Muestra 500g malla 20 contramarcada**



Fuente: Autor del proyecto.

**Foto 18. Frasco de preparación muestra petrografía**



Fuente: Autor del proyecto.

En la foto 18 podemos observar el frasco de preparación de muestra, en el que se vierte en primer lugar la resina y se va vertiendo la muestra de carbón hasta obtener una mezcla homogénea que tenga la humedad apropiada, el secado de la muestra puede tardar desde 10 min hasta más de 24 horas dependiendo de las características del carbón y de la mezcla con la resina que se haya realizado.

**Foto 19. Cortadora disco Diamantado**



Fuente: Autor del proyecto.

Luego de secada la muestra se procede a cortarla en la mitad por medio de la cortadora de disco diamantado que se puede observar en la foto 17, obteniendo la probeta casi lista para el análisis como se observa en la foto 18.

**Foto 20. Probetas cortadas a la mitad**



Fuente: Autor del proyecto.

Luego de cortadas las probetas se procede al proceso de pulido para obtener una mayor visión de los macerales y unos resultados más certeros y cercanos a la realidad.

**Foto 21. Pulidora probetas LECO.**



Fuente: Autor del proyecto.

Luego de tener la probeta se procede a pulirla en la maquina leco foto 21, en esta se termina el proceso de pulido y se adicionan algunos aditivos para mejorar sus características en la cara de pulido para facilitar el reconocimiento de los grupos macerales que se encuentren en dicha probeta.

**2.3.2 Reflectancia media aleatoria de la vitrinita.** Por poder de reflexión se entiende la intensidad de luz reflejada, referida a la intensidad de luz que incide perpendicularmente sobre un cuerpo de prueba. Esta propiedad puede ser medida con la ayuda de un fotómetro que recibe la luz reflejada por la superficie de la muestra y convierte la señal en forma adecuada para su registro.

El poder de reflexión de una sustancia generalmente no se mide directamente, ya que es muy difícil el cálculo exacto de la intensidad de la luz que cae sobre la muestra. El poder de reflexión de una sustancia desconocida se determina por este motivo mediante comparaciones con sustancias de reflexiones conocidas (patrones).

En este ensayo se determina la Reflectancia aleatoria de la vitrinita por medio del fotómetro, realizando 500 lecturas por cada muestra de carbón unitario, y un software toma los datos y realiza los reflectogramas de cada uno de los carbones obteniendo los siguientes datos.

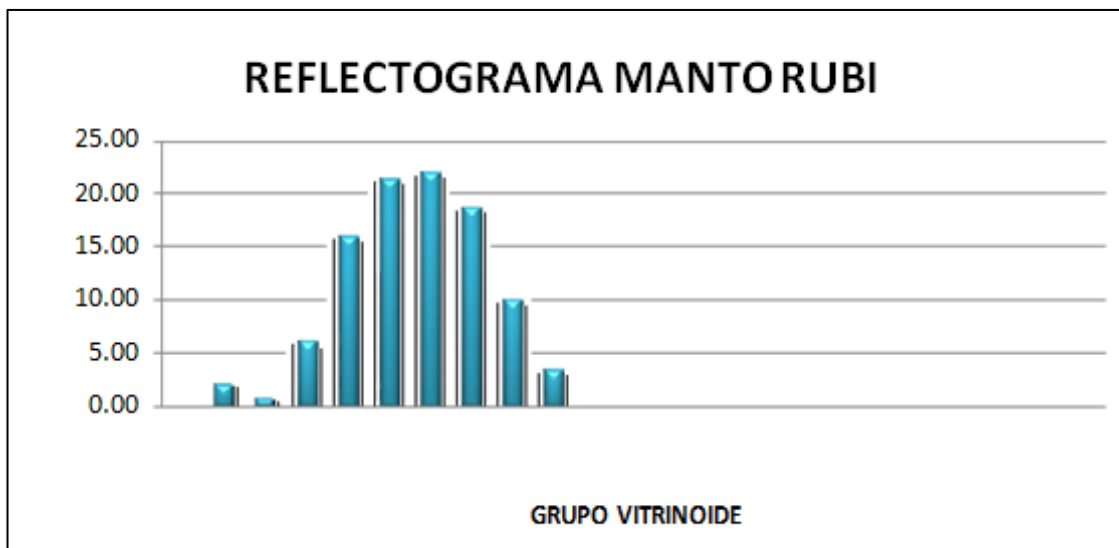
**Cuadro 6. Resumen análisis reflectancia de la vitrinita.**

MANTO	V 9	V9 ,5	V1 0	V10 ,5	V1 1	V11 ,5	V1 2	V12 ,5	V1 3	V13 ,5	V1 4	V14 ,5	V1 5	V15 ,5	V1 6	V16 ,5	V1 7	V17 ,5	V1 8	V18 ,5	V1 9	V19 ,5	V2 0	CONT ROL
PIEDRO	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.67	0.6 7	4.67	21. 33	24.6 7	25. 33	16.0 0	6.6 7	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
RUBÍ	0. 00	2.0 0	0.6 7	6.00	16. 00	21.3 3	22. 00	18.6 7	10. 00	3.33	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
TESORITO	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	6.67	10. 67	20.0 0	24. 00	20.0 0	12. 00	3.33	3.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	100.00
TESORO	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	1.3 3	8.00	13. 33	16.6 7	25. 33	13.3 3	14. 00	4.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
CISQUE RA	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	2.00	2.6 7	4.67	14. 67	14.0 0	26. 67	13.3 3	12. 67	0.6 7	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
BOCAT OMA	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	1.3 3	7.33	13. 33	27.3 3	23. 33	16.0 0	10. 00	1.33	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
MILAGR O	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	1.3 3	2.6 7	12. 67	21.3 3	16. 00	14.6 7	10. 00	8.67	3.3 3	2.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
ALISO	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	1.33	2.6 7	2.00	8.0 0	14.6 7	21. 33	14.6 7	12. 00	11.3 3	8.0 0	3.33	0.6 7	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
TESORO MANA	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.67	2.6 7	8.67	8.6 7	21.3 3	16. 00	18.6 7	11. 33	6.67	5.3 3	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
CISQUE RA MANA	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	1.33	4.6 7	12.6 7	11. 33	26.0 0	19. 33	14.6 7	4.6 7	2.67	2.6 7	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	100.00
CISQUE RA LABERIN TO	0. 00	0.0 0	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	0.0 0	0.00	4.6 7	8.00	12. 00	20.6 7	22. 00	20.0 0	6.6 7	3.33	2.0 0	0.67	0.0 0	100.00

Fuente: Datos de Estudio

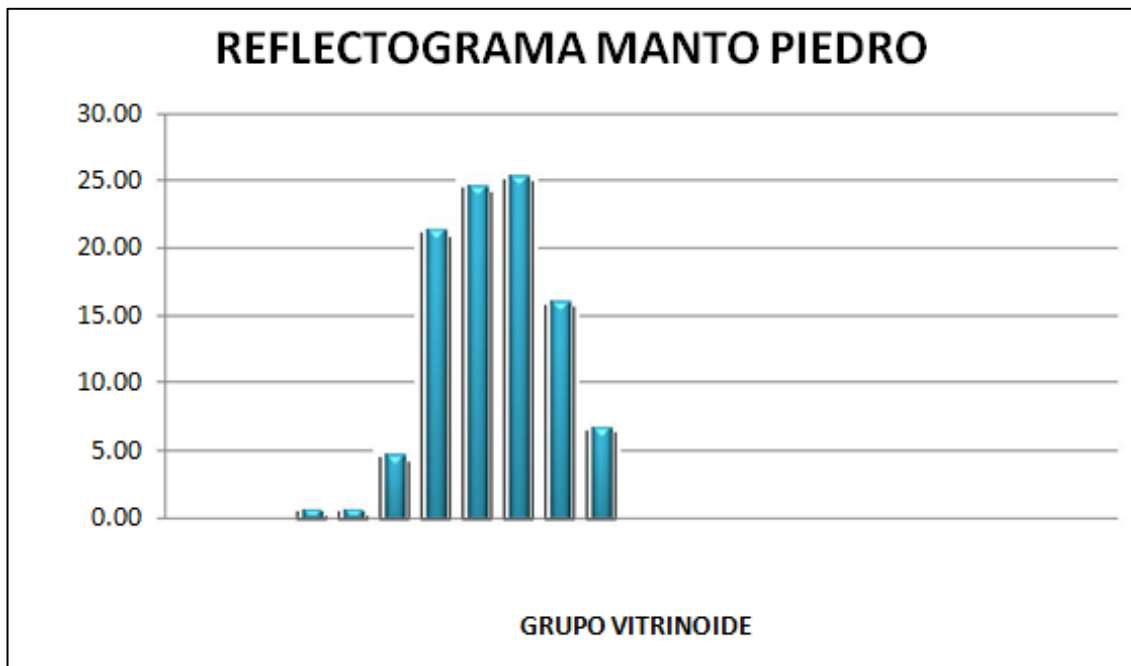
Luego de obtenidos estos datos se procede a graficar el reflectograma para cada uno de los mantos obteniendo las siguientes graficas:

**Gráfica 1. Reflectograma manto Rubí.**



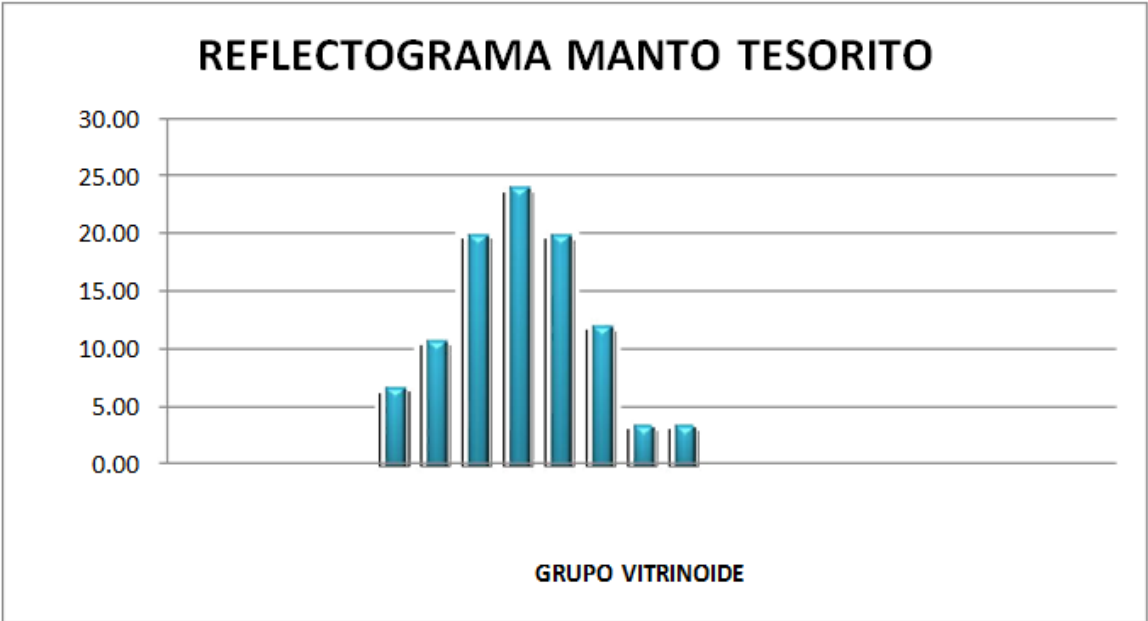
Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 2. Reflectograma manto Piedro**



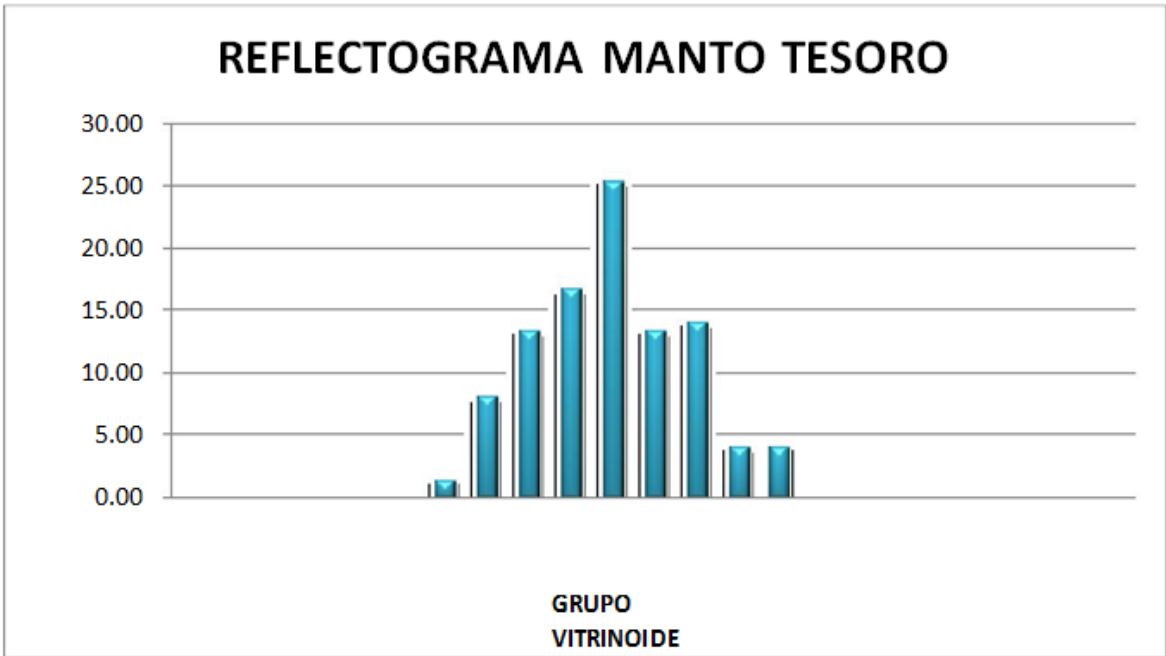
Fuente: Datos de Estudio

Gráfica 3. Reflectograma manto Tesorito.



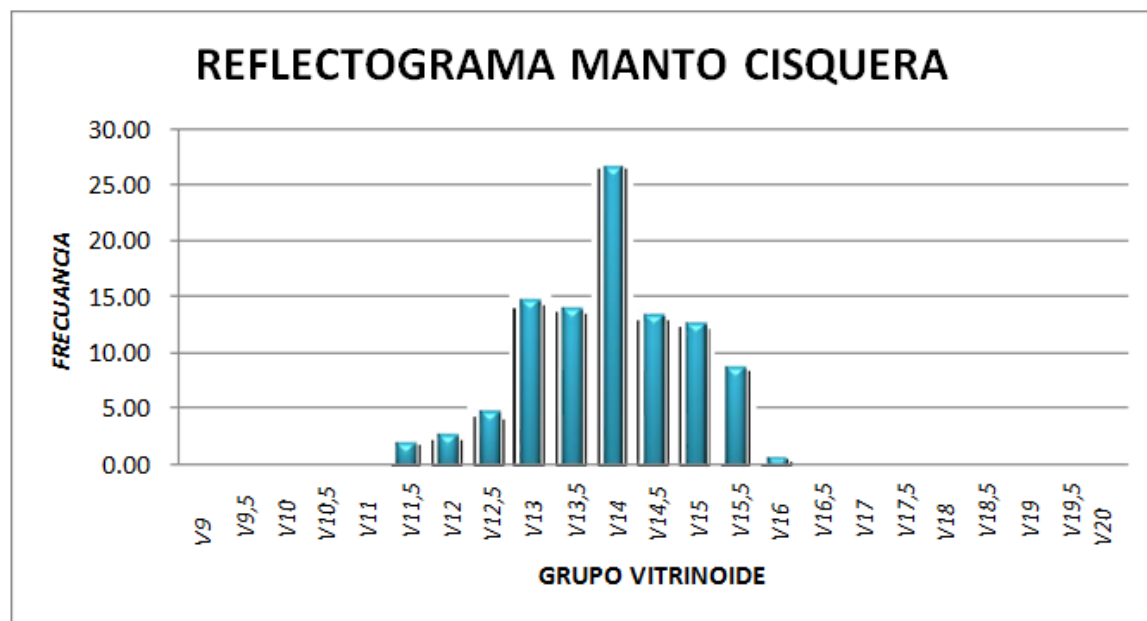
Fuente: Datos de Estudio

Gráfica 4. Reflectograma manto Tesoro



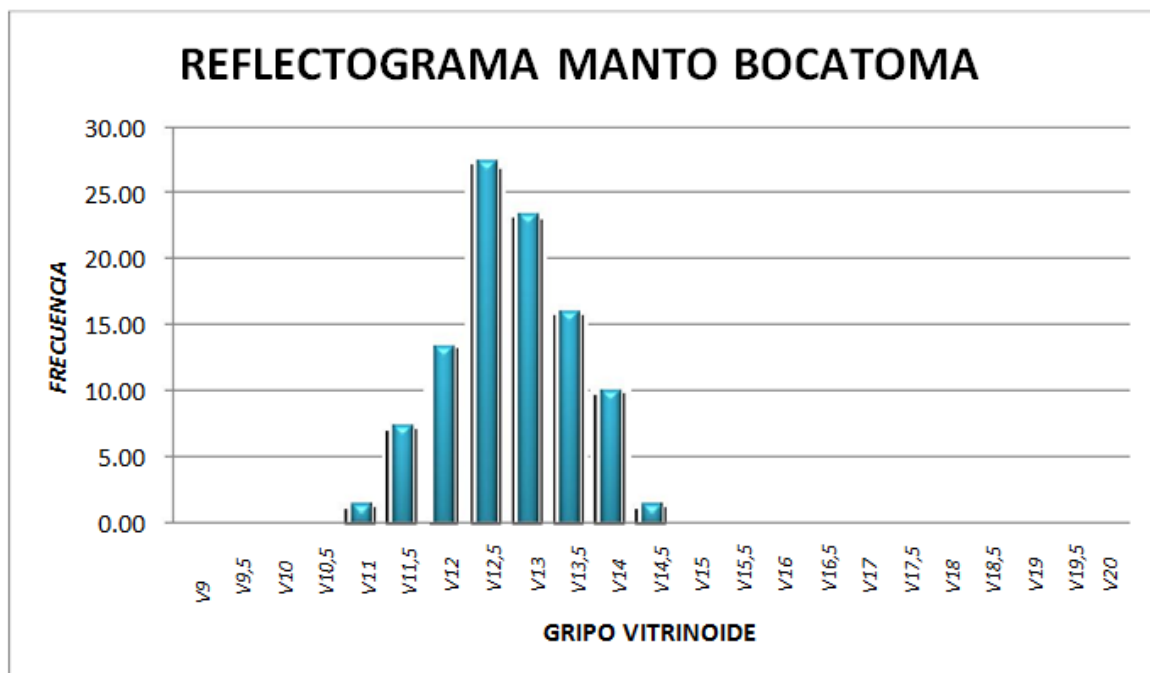
Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 5. Reflectograma manto Cisquera.**



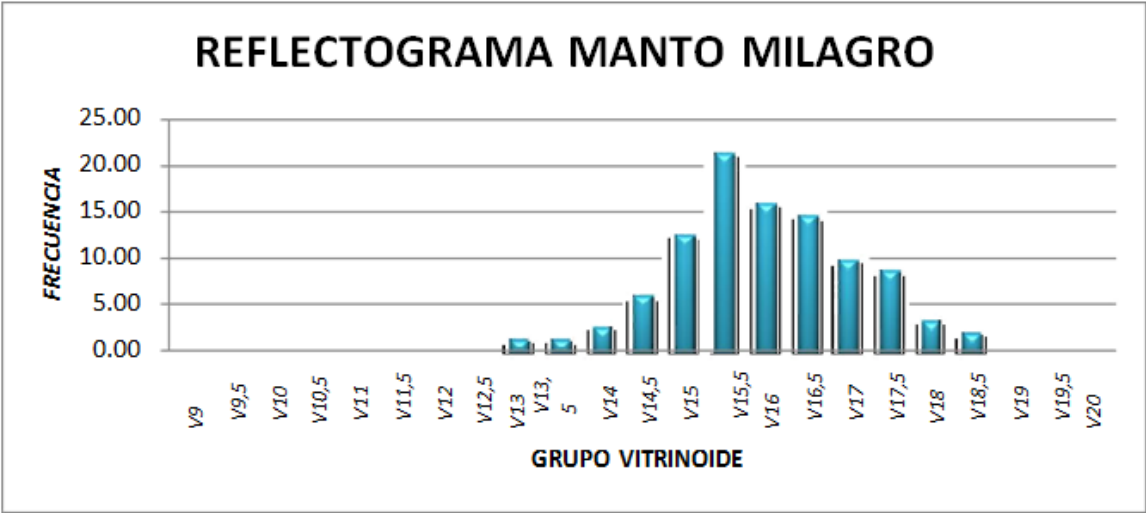
Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 6. Reflectograma manto Bocatoma.**



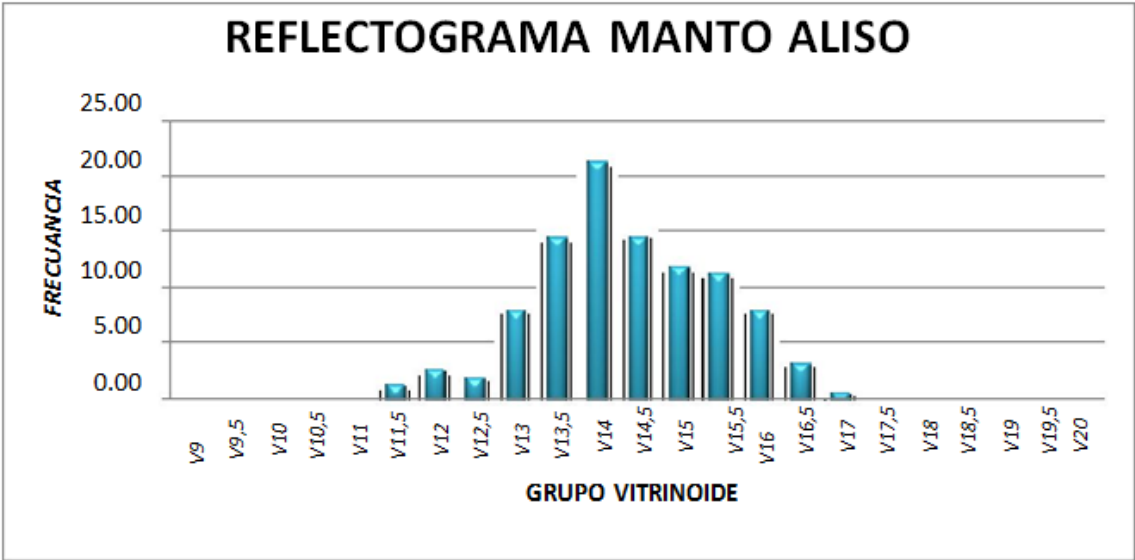
Fuente: Datos de Estudio

Gráfica 7. . Reflectograma manto Milagro.



Fuente: Datos de Estudio

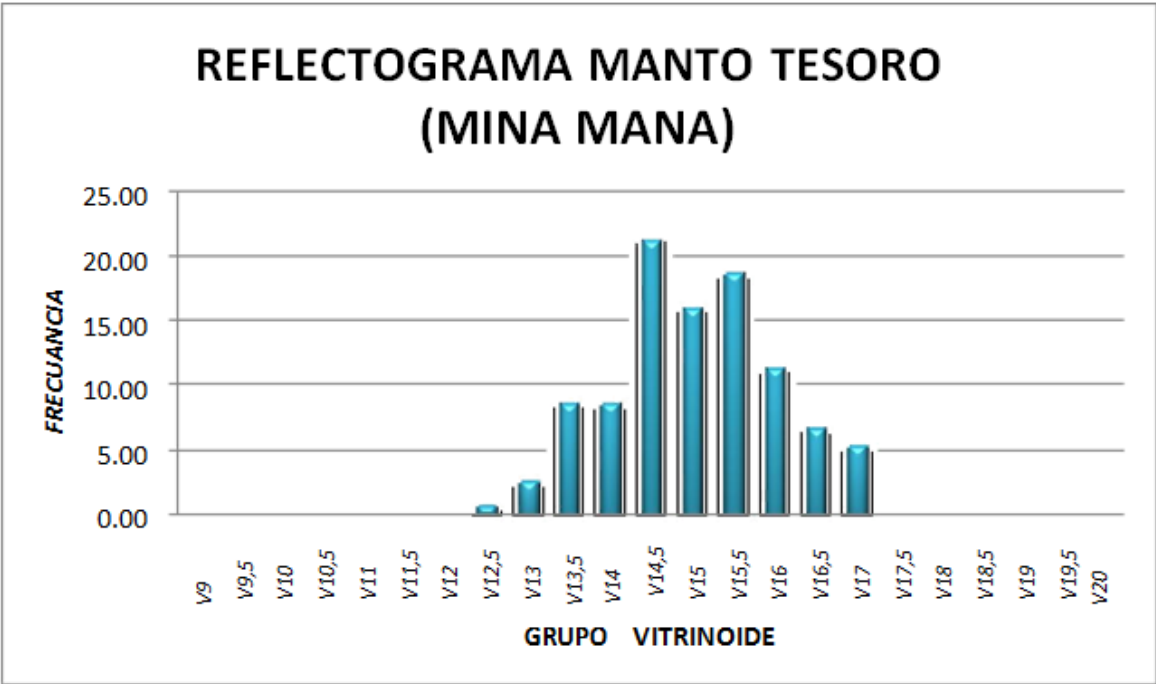
Gráfica 8. Reflectograma manto Aliso.



Fuente: Datos de Estudio

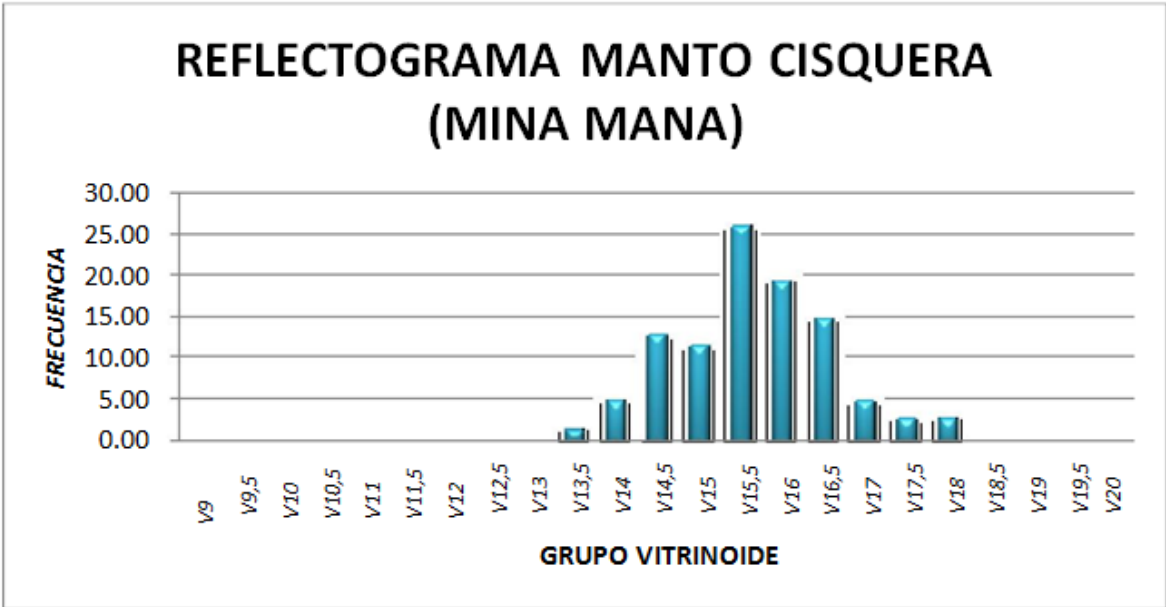


Gráfica 9. Reflectograma manto Tesoro (mina Mana)



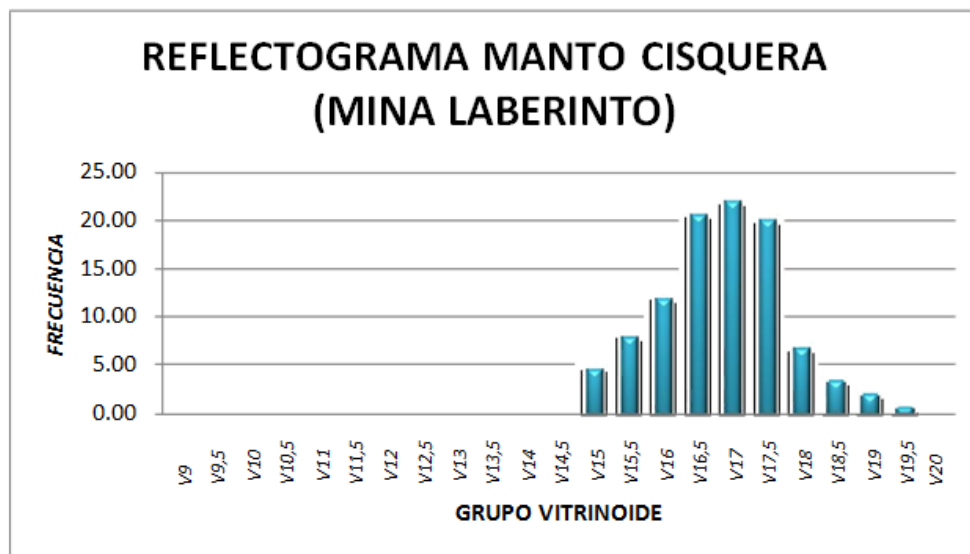
Fuente: Datos de Estudio

Gráfica 10. Reflectograma manto Cisquera (mina Mana).



Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 11. Reflectograma manto Cisquera (Mina Laberinto)**



Fuente: Datos de Estudio

De las gráficas anteriores podemos concluir que la reflectancia media de la vitrinita tiene una relación inversamente proporcional con el contenido de materia volátil ya que los carbones que son medios volátiles la concentración de vitrinoides está en vitrinoides menores a los carbones de mayor rango.

Podemos ver en cada reflectograma que forman una campana con poca dispersión de datos comprobando así que son carbones unitarios de cada manto; el software que lee los conteos de grupos vitrinoides toma un promedio de los conteos y encuentra la reflectancia media aleatoria de la vitrinita para cada caso, este dato se presenta con los datos de grupos macerales.

**2.3.3 Análisis de macerales.** Los macerales se asocian en tres grupos principales: la vitrinita, la liptinita o exinita y la inertinita. La vitrinita es el principal componente maceral en la mayoría de los carbones, procede de las partes leñosas y las cortezas de las plantas y constituye entre un 50% y un 90% del carbón, su reflexión (reflectancia media aleatoria de la vitrinita) puede utilizarse para determinar el grado de carbonificación o madurez que se determina por análisis microscópico.

El grupo maceral de la exinita o liptinita se caracteriza por su alto contenido de materia volátil, es el maceral más reactivo y de mayor poder calorífico. Procede de resinas, membranas de células, esporas, algas y son relativamente ricas en hidrógeno.

El grupo maceral de la inertinita es muy frágil, tienen alto contenido de carbono y su nombre identifica su marcada tendencia inerte con respecto a los otros grupos de macerales

Dada la importancia del contenido de vitrinita, su reflectancia es fundamental en el estudio de caracterización y en el diseño de mezclas ya que su calidad dependerá también de este ítem mejorando o no su precio en el mercado de carbón mundial actual. A continuación se muestra una tabla con el resumen del análisis petrográfico en cuanto al contenido de macerales y finalmente la reflectancia media de la vitrinita.

Para el conteo de macerales se utilizó la misma probeta que se preparó en la reflectancia media aleatoria de la vitrinita, a dicha probeta se aplica un aceite para facilitar la lectura de datos y se procede al conteo de puntos los cuales son 500 para carbones unitarios y 1000 para mezclas; en primer lugar se coloca la probeta en la regleta que se tiene con la graduación precisa para lograr el conteo de puntos como se muestra en la foto 22.

**Foto 22. Muestra en microscopio**



Fuente: Autor del proyecto.

Luego de localiza el primer punto de lectura aleatorio de macerales y se comienza con el conteo, dicho conteo está controlado por un sistema computalizado que lleva el conteo y los tipos de macerales encontrados como se observa en la foto 23.

**Foto 23. Microscopio en lectura de macerales**



Fuente: Autor del proyecto.

Luego del conteo se imprime el registro encontrado y arrojado por el software, este ensayo se realizó para cada uno de los mantos objetos de estudio obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro 7. Resumen análisis Macérales

ZONA	MINA	MANTO	Vitrinita	Esporinita	Otras exinitas	Fusinita	Semifusinita	Otros Inertes	Mat. Mineral	Reactivos Totales	Inertes Totales	CONTROL	Reflectancia Media de la Vitrinita
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	68.4	0	0.4	3.8	12.8	9.6	5	73.06	26.92	100.0	1.30
RAQUIRA	PIEDRO	RUBÍ	57.6	0	0.3	3.5	17.7	16.1	4.5	64.09	35.89	0	1.18
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	66.0	0	0	9.6	10.9	8.7	4.9	69.63	30.46	100	1.28
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	68	0	0	5.4	12	11.6	3	72.00	27.99	100	1.42
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	66.4	0	0	10.8	10.4	9.6	2.8	69.86	30.13	100	1.42
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	60.1	0.3	0	2.9	18.6	15.8	2.3	66.59	33.39	100	1.13
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	70	0	0	4.6	9	12.4	4	73.00	26.99	100.0	1.57
GUACHETA	LA MANA	ALISO	72.6	0	0	5.8	6.8	11	3.8	74.86	25.13	100	1.41
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	64.2	0	0.2	5.6	10.4	13.6	6	67.86	32.13	100	1.48
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	66.8	0	0	9	10.6	11.6	2	70.33	29.66	100.0	1.54
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	67	1.6	1.8	6.6	9.4	10	3.6	73.53	26.46	100.0	1.66

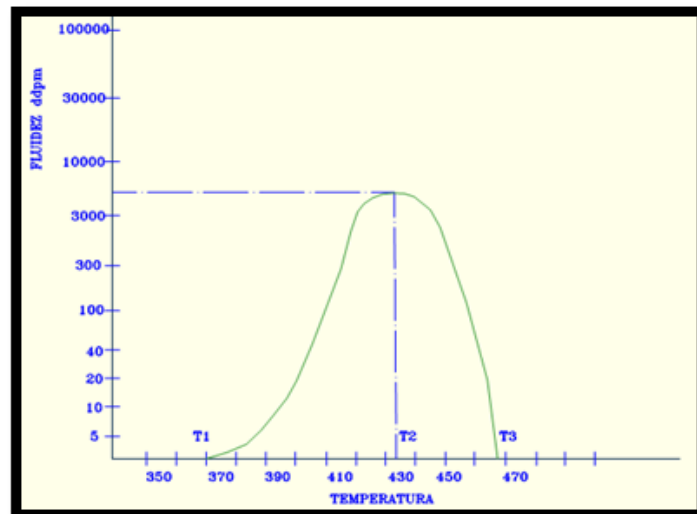
Fuente: Datos de Estudio

En el cuadro 7 encontramos un resumen del análisis de macerales, encontrando que la vitrinita se encuentra dentro de un rango de 57.2% hasta 72.6% además de que la reflectancia media aleatoria se encuentra en rangos entre 1.13 y 1.66 lo que indica sus características coquizables, las cuales cumplen con las exigencias del mercado internacional.

## 2.4 PROPIEDADES REOLOGICAS

**2.4.1 Plastometría.** La Plastometria es la tendencia del carbón a fundirse o ablandarse llegando al estado líquido al ser calentado, al modelo más usado es el plastómetro de Gieseler (ASTM D 2639-04), que dispone de un crisol metálico sumergido en un baño de aleación de plomo-estaño que permite calentar uniformemente, en ausencia de aire, aproximadamente 5 gramos de carbón finamente molido. Dentro de la masa de carbón se encuentra incrustado un pequeño agitador en forma de aspa al cual se le aplica un torque constante. Este torque es suficientemente leve para no hacer girar el agitador cuando el carbón aun es sólido. La velocidad de calentamiento de la muestra generalmente es de 3 °C/min y cuando se llega a cierta temperatura, que es característica para un carbón con propiedades aglomerantes (generalmente comprendida entre 350 y 420 °C), el agitador comienza a girar muy lentamente aumentando a medida que la temperatura aumenta y la masa de carbón adquiere un carácter plástico más fuerte. Alcanza un máximo para una temperatura entre 450 a 480 °C y disminuye bastante rápido. Después de unos minutos, el agitador para definitivamente, alrededor de los 500 °C. En la figura 3 se muestra una curva típica de plastometría de un carbón coquizable indicando las temperaturas a las cuales se inicia (T1), alcanza su máximo (T2) y finaliza esta etapa plástica (T3). De este ensayo también puede obtenerse la máxima fluidez expresada como las veces que gira el dial en un minuto (ddpm) como se observa en la siguiente figura (BAEZ, 2003):

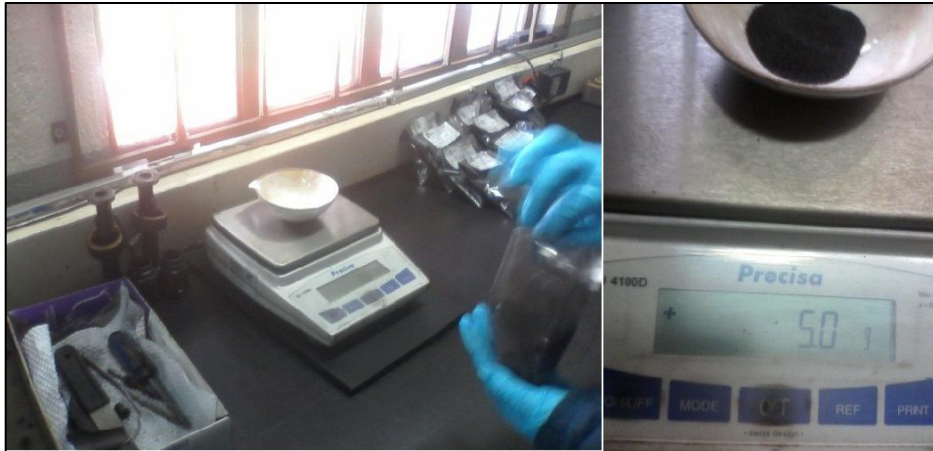
**Figura. 10. Curva de fluidez**



Fuente: Datos de Estudio

El ensayo se realizó según los parámetros de la norma ASTM D 2639-04, en primer lugar se toman de la muestra preparada (malla 40) 5 gramos (foto 24) los cuales se preparan para compactar y mezclar con el mezclador y el crisol especial para este procedimiento.

**Foto 24. Balanza electrónica peso indicado**



Fuente: Autor del proyecto.

**Foto 25. Crisol, agitador e instrumentos ensayo Plastometria**



Fuente: Autor del proyecto.

En la foto anterior se muestran los instrumentos que según norma se utilizan para el ensayo de fluidez; luego de tener los 5 g previamente pesados procedemos a



armar el crisol de forma mecánica luego se introduce el mezclador como se ve en la foto 26.

**Foto 26. Crisol armado y mezclador**



Fuente: Autor del proyecto.

Paso seguido se ponen estos instrumentos en el apisonador plastómetro y se procede a verter los 5g de carbón dentro del crisol se asegura el mezclador y se procede a dar un golpeteo con el apisonador para compactar el carbón y evitar la presencia de poros dentro del ensayo como se ve en la siguiente foto.

**Foto 27. Procedimiento apisonador plastómetro**



Fuente: Autor del proyecto.

Luego de realizar alrededor de 10 a 15 golpeteos se extrae el crisol junto con el mezclador y se coloca el instrumento de la parte superior el cual se acopla al equipo de plastometría como se observa en la foto 28.

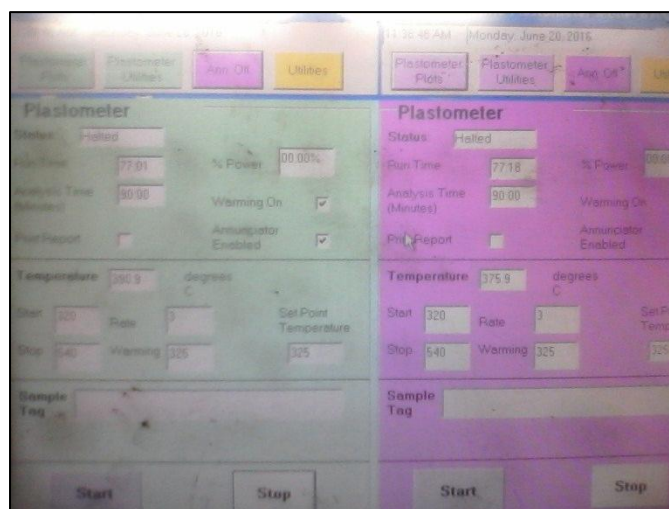
**Foto 28. Instalación de muestra en plastómetro**



Fuente: Autor del proyecto.

Finalmente se enciende el equipo a la temperatura de 320°C y se espera el resultado durante 90 minutos en los que el equipo realiza el proceso térmico.

**Foto 29. Pantalla equipo Plastometria**



Fuente: Autor del proyecto.



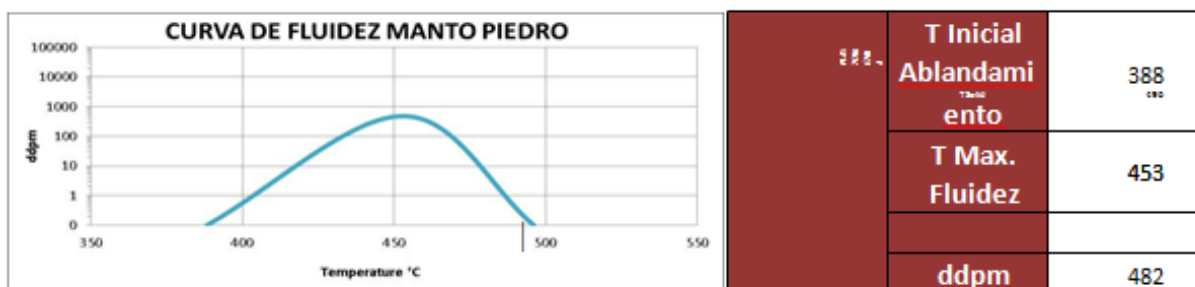
Luego de los 90 minutos el equipo ofrece los resultados y la gráfica resultado del ensayo en cada muestra, este ensayo se realizó en cada uno de los mantos obteniendo los siguientes resultados:

**Cuadro 8. Resumen plastometría mantos**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	PLASTOMETRÍA			
			T Inicial Ablandamiento	T Max. Fluidez	T Solid	ddpm
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	388	453	496	482
RAQUIRA	PIEDRO	RUBÍ	380	452	494	2,093
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	403	472	507	819
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	425	476	503	1,160
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	382	449	488	3,813
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	397	456	494	1,571
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	434	474	500	680
GUACHETA	LA MANA	ALISO	455	465	491	390
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	425	479	510	246
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	433	472	497	710
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	437	477	506	987

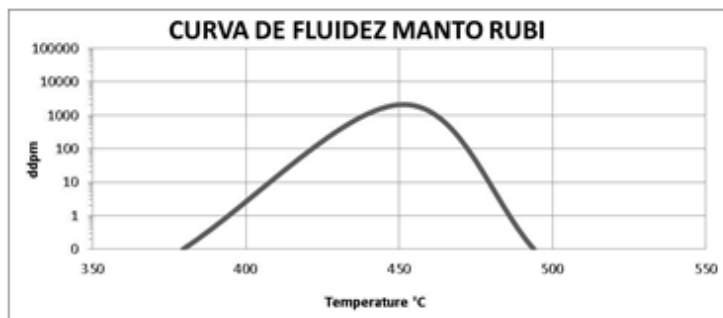
Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 12. Curva de fluidez manto Piedro y cuadro resumen**



Fuente: Datos de Estudio

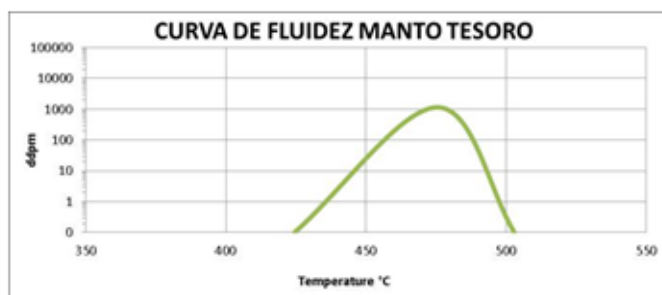
**Gráfica 13. Curva de fluidez manto Rubí y cuadro resumen**



PLASTOMETRÍA	T Inicial Ablandamiento	380
	T Max. Fluidez	452
	T Solid	494
	ddpm	2,093

Fuente: Datos de Estudio

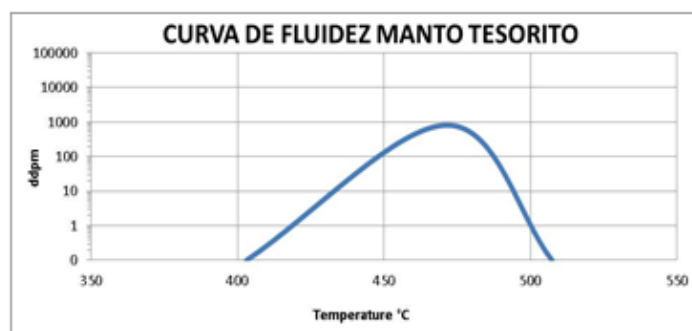
**Gráfica 14. Curva de fluidez manto Tesoro y cuadro resumen**



PLASTOMETRÍA	T Inicial Ablandamiento	403
	T Max. Fluidez	472
	T Solid	507
	ddpm	819

Fuente: Datos de Estudio

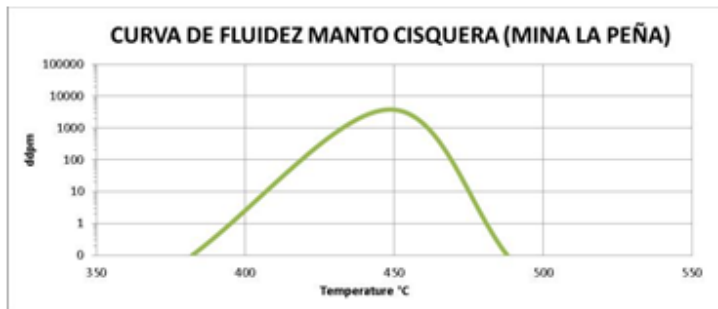
**Gráfica 15. Curva de fluidez manto Tesorito y cuadro resumen**



PLASTOMETRÍA	T Inicial Ablandamiento	425
	T Max. Fluidez	476
	T Solid	503
	ddpm	1,160

Fuente: Datos de Estudio

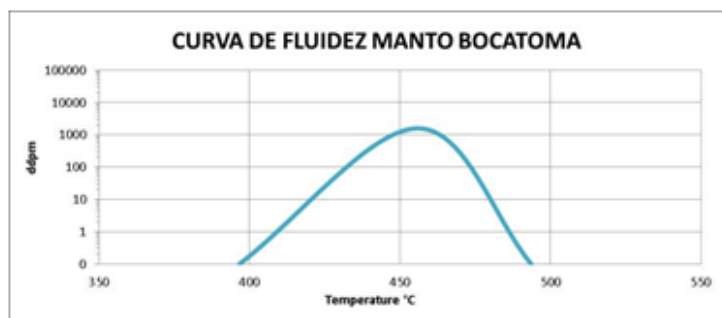
**Gráfica 16. Curva de fluidez manto cisquera (mina peña) y cuadro resumen**



PLASTOMETRIA	T Inicial Ablandamiento	382
	T Max. Fluidez	449
	T Solid	488
	ddpm	3,813

Fuente: Datos de Estudio

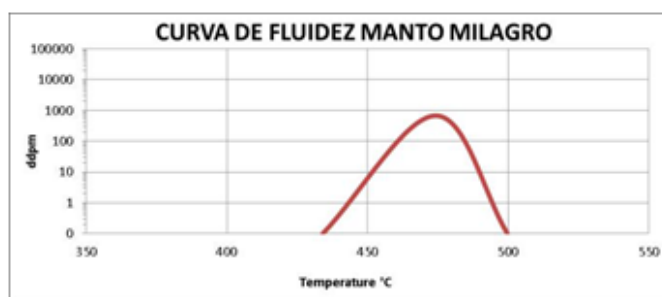
**Gráfica 17. Curva de fluidez manto Bocatoma y cuadro resumen**



PLASTOMETRIA	T Inicial Ablandamiento	397
	T Max. Fluidez	456
	T Solid	494
	ddpm	1,571

Fuente: Datos de Estudio

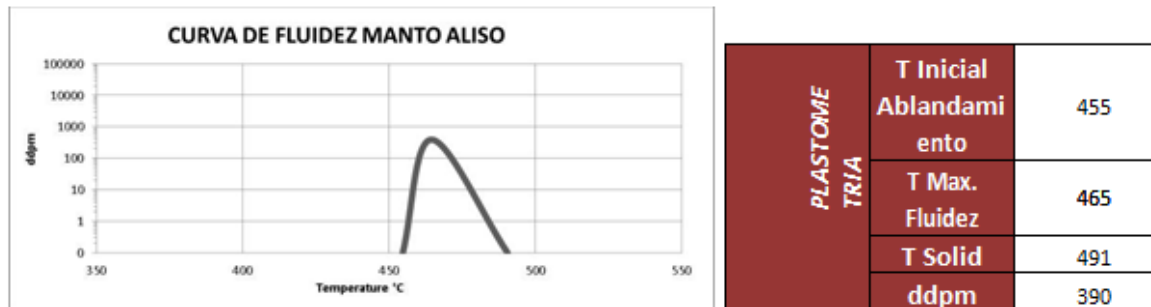
**Gráfica 18. Curva de fluidez manto Milagro y cuadro resumen**



PLASTOMETRIA	T Inicial Ablandamiento	434
	T Max. Fluidez	474
	T Solid	500
	ddpm	680

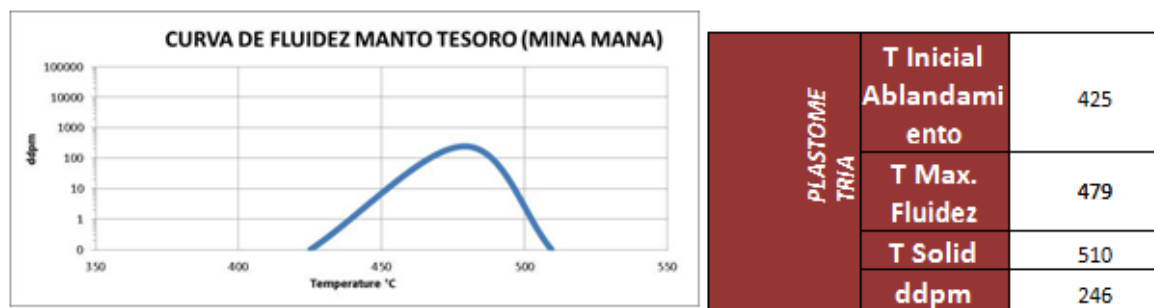
Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 19. Curva de fluidez manto Aliso y cuadro resumen**



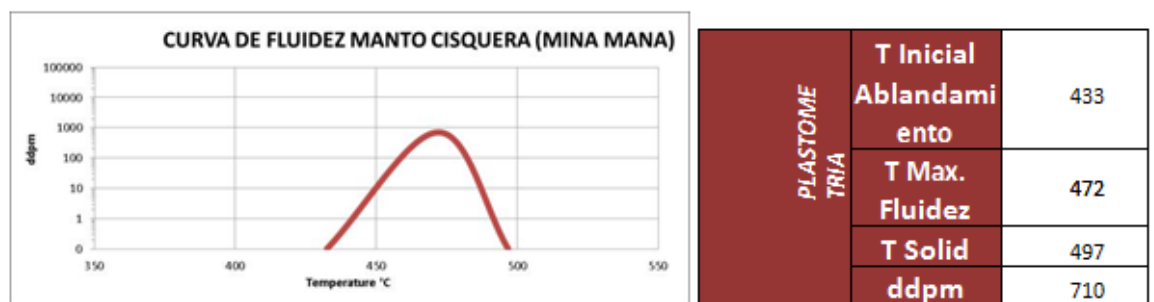
Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 20. Curva de fluidez manto Tesoro (Mina Mana) y cuadro resumen**



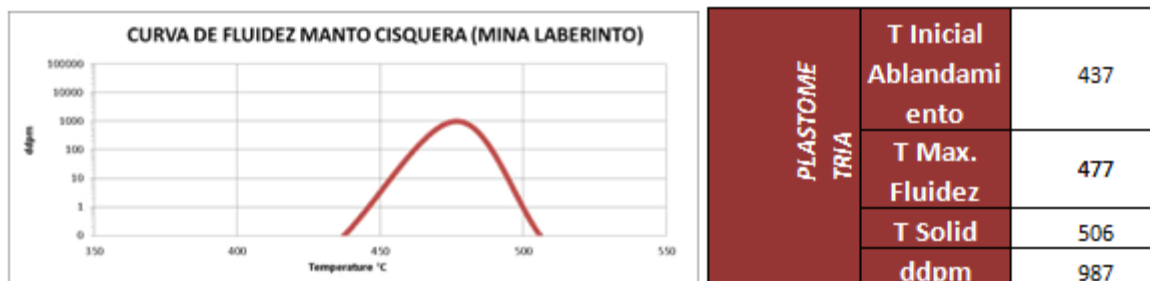
Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 21. Curva de fluidez manto Cisquera (mina Mana) y cuadro resumen**



Fuente: Datos de Estudio

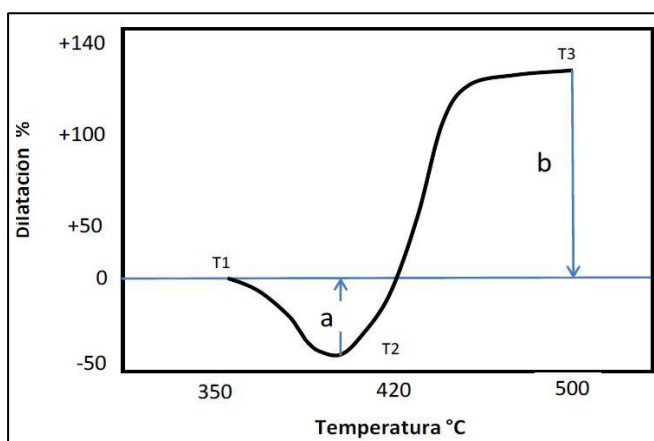
**Gráfica 22. Curva de fluidez manto cisquera (mina Laberinto) y cuadro resumen**



Fuente: Datos de Estudio

**2.4.2 Dilatometría.** El ensayo dilatométrico mide el cambio de volumen que acompaña la etapa plástica de los carbones. Para determinar este comportamiento, se utiliza principalmente el dilatómetro Audibert – Arnu (ASTM D 5515-04) que consiste de un tubo cerrado en una extremidad en el cual se desplaza con leve roce un émbolo o pistón. Este émbolo indica los cambios del desplazamiento de un lápiz cilíndrico aglomerado (hecho a partir de la muestra de carbón) en función de la temperatura de calentamiento. Se obtiene una curva típica como la que se muestra en la figura 4, en la que se indica la temperatura de ablandamiento (T1), la temperatura de máxima contracción (T2), porcentaje de contracción (a), temperatura de máxima dilatación (T3) y porcentaje de máxima dilatación (b). La contracción es el resultado del ablandamiento de los granos de carbón que se aglutinan unos con otros y se comprimen con el peso del émbolo; la liberación de las materias volátiles compensa este efecto y provoca un aumento del volumen inicial dando como resultado la dilatación (BAEZ, 2003)

**Imagen 8. Dilatometría**



Fuente: Datos de Estudio

T1, °C: Temperatura inicial de ablandamiento, Temperatura en la cual el pistón se ha movido de una división del papel diagramal.

T2, °C Temperatura de máxima contracción, Temperatura en que el pistón alcanza el punto mínimo.

T3, °C Temperatura de máxima dilatación, Temperatura en que el pistón alcanza el punto máximo.

Máxima contracción “a”, %

Máxima dilatación “b”, %

Para el ensayo dilatométrico se tuvo en cuenta la norma ASTM D 5515, en la que se exige una granulometría malla 40, para la preparación de la muestra se toman 5g de carbón y se vierten dentro de un molde y de pasa al apisonador para que la muestra en forma cilíndrica tenga mayor resistencia y algo de cohesión.

### **Foto 30. Procedimiento preparación muestra Dilatometría**



Fuente: Autor del proyecto.

Luego de pasarla por el apisonador se coloca en un gato neumático que extrae de manera lenta y segura la muestra en forma cilíndrica que debe tener una longitud de 6 cm, esta muestra cilíndrica se introduce en un embolo y se instala el pistón de manera cuidadosa sin dañar la muestra y se pone en el horno dilatométrico como se muestra en la siguiente foto.

**Foto 31. Procedimiento instalación pistón y puesta en horno dilatométrico**



Fuente: Autor del proyecto.

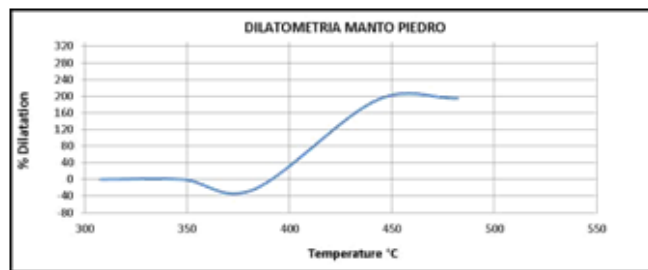
Luego de poner el pistón y el embolo con la muestra dentro del horno se instala el sensor que indica el porcentaje de contracción y dilatación de la muestra, dicho sensor se encuentra en la parte superior del horno. Finalmente se enciende el equipo y se obtienen los siguientes resultados para cada muestra:

**Cuadro 9. Resumen ensayo Dilatometría.**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	DILATOMETRÍA				
			T1	T2	T3	%C	%D
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	348	383	442	24	195
RAQUIRA	PIEDRO	RUBÍ	358	395	463	16	183
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	369	408	484	25	130
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	405	434	471	26	64
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	360	407	460	19	121
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	346	380	456	26	227
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	395	443	470	6	38
GUACHETA	LA MANA	ALISO	371	412	476	28	83
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	405	434	471	26	64
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	418	446	482	22	115
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	405	434	471	26	145

Fuente: Datos de Estudio

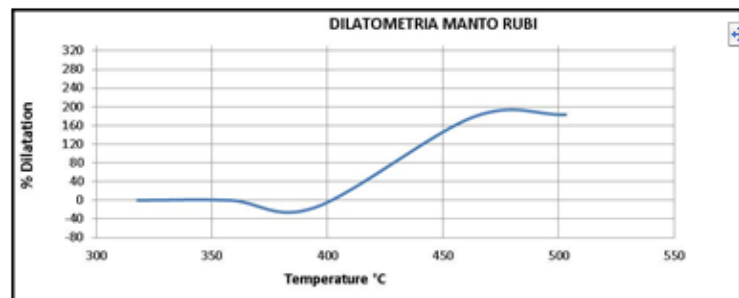
**Gráfica 23. Dilatometría manto Piedro y cuadro resumen**



DILATOMETRÍA	T1	348
	T2	383
	T3	442
	%C	24
	%D	195

Fuente: Datos de Estudio

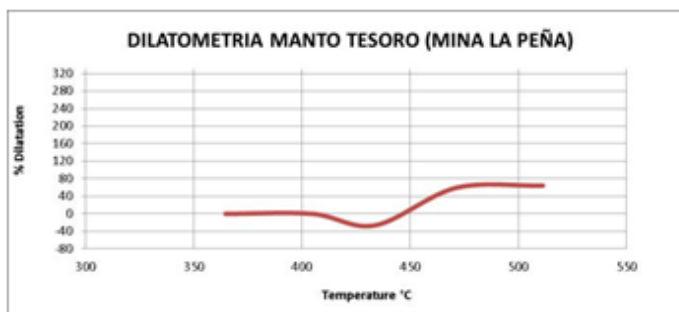
**Gráfica 24. Dilatometría manto Rubí y cuadro resumen**



DILATOMETRÍA	T1	358
	T2	395
	T3	463
	%C	16
	%D	183

Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 25. Dilatometría manto Tesoro (mina Peña) y cuadro resumen**

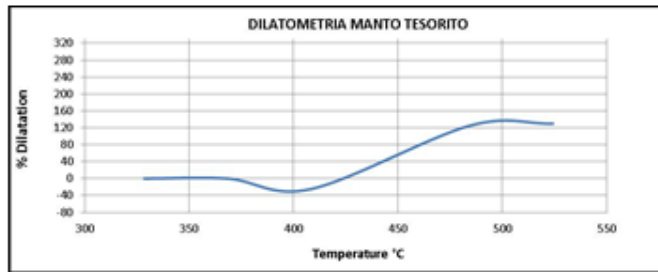


DILATOMETRÍA	T1	405
	T2	434
	T3	471
	%C	26
	%D	64

Fuente: Datos de Estudio



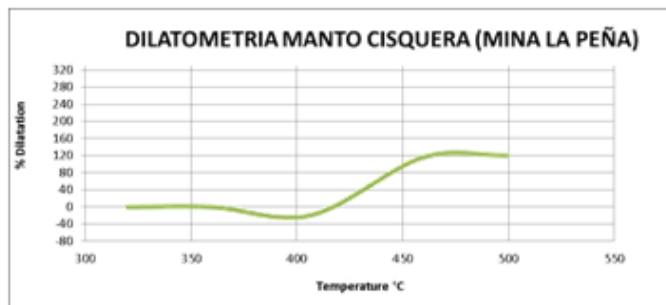
**Gráfica 26. Dilatometría manto Tesorito y cuadro resumen**



DILATOMETRIA	T1	369
	T2	408
	T3	484
	%C	25
	%D	130

Fuente: Datos de Estudio

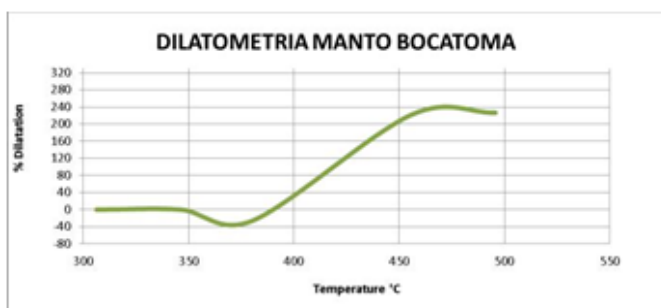
**Gráfica 27. Dilatometría manto Cisquera (mina Peña) y cuadro resumen**



DILATOMETRIA	T1	360
	T2	407
	T3	460
	%C	19
	%D	121

Fuente: Datos de Estudio

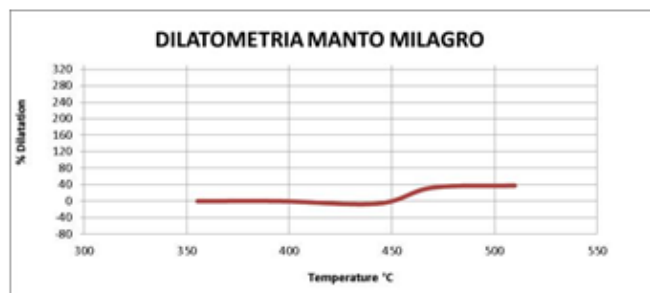
**Gráfica 28. Dilatometría manto Bocatoma y cuadro resumen**



DILATOMETRIA	T1	346
	T2	380
	T3	456
	%C	26
	%D	227

Fuente: Datos de Estudio

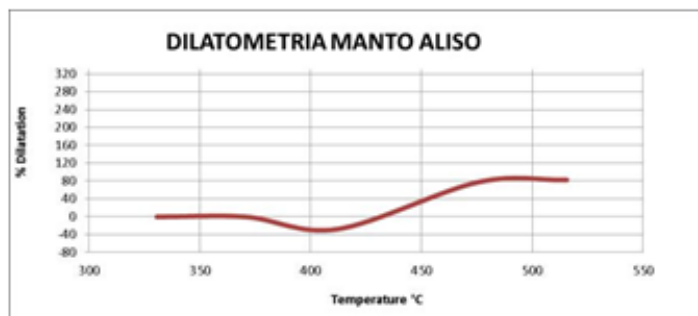
**Gráfica 29. Dilatometría manto Milagro y cuadro resumen**



DILATOMETRIA	T1	395
	T2	443
	T3	470
	%C	6
	%D	38

Fuente: Datos de Estudio

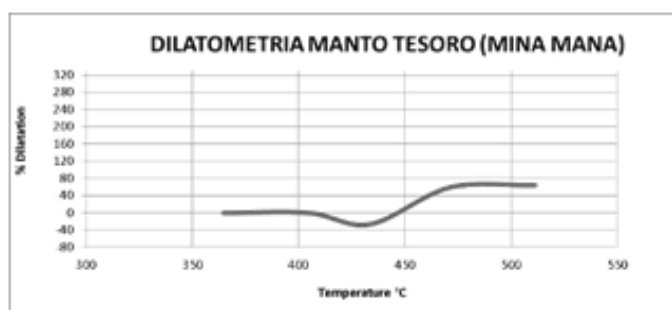
**Gráfica 30. Dilatometría manto Aliso y cuadro resumen**



DILATOMETRIA	T1	371
	T2	412
	T3	476
	%C	28
	%D	83

Fuente: Datos de Estudio

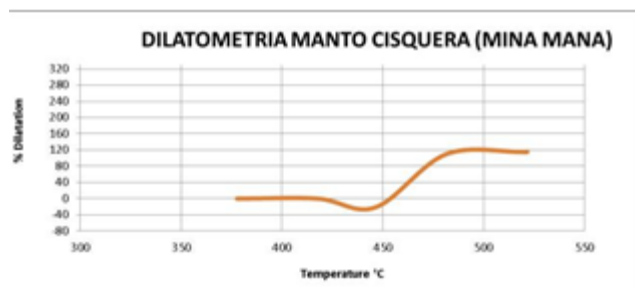
**Gráfica 31. Dilatometría manto tesoro (Mina Mana) y cuadro resumen**



DILATOMETRIA	T1	405
	T2	434
	T3	471
	%C	26
	%D	64

Fuente: Datos de Estudio

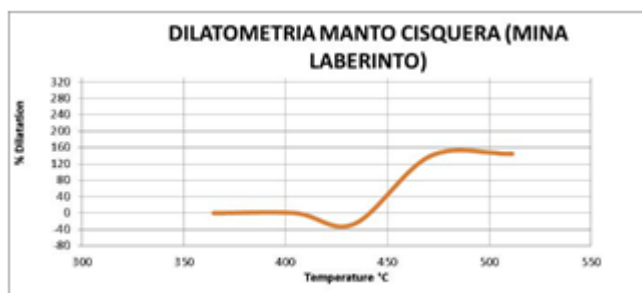
**Gráfica 32. Dilatometría manto Cisquera (mina Mana) y cuadro resumen**



	T1	418
	T2	446
	T3	482
	%C	22

Fuente: Datos de Estudio

**Gráfica 33. Dilatometría manto Cisquera (mina Laberinto) y cuadro resumen**



	T1	405
	T2	434
	T3	471
	%C	26

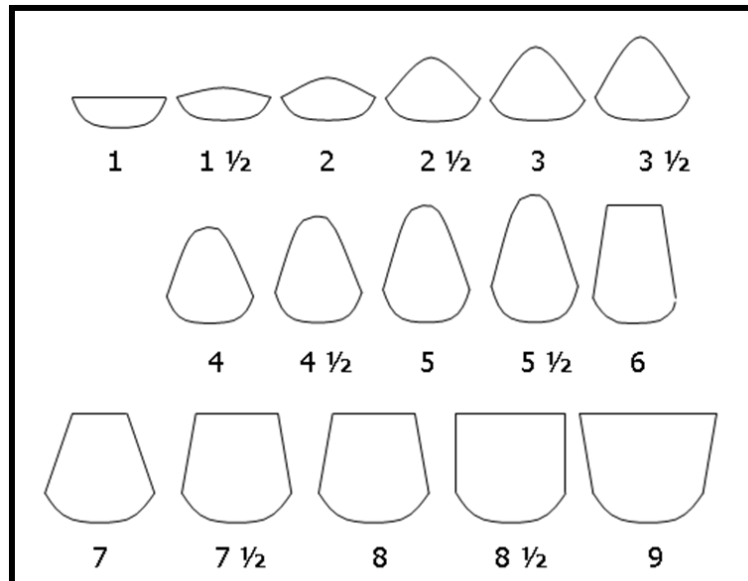
Fuente: Datos de Estudio

En las gráficas anteriores vemos las propiedades de dilatación de cada uno de los mantos explotados por la empresa, teniendo como constante que los mantos cisquera en las tres minas que se explotan tienen porcentajes de dilatación interesantes en el mercado, y que la mina la Peña tiene dos mantos con altas propiedades coquizantes al igual que la mina Laberinto con su manto cisquera lo que indica que el carbón que se extrae de estas minas es de los de mayores cualidades coquizantes.

**2.4.3 Índice de hinchamiento libre (Free Swelling Index) FSI.** En la prueba de hinchamiento una muestra de carbón finamente molida se coloca en un crisol sin apisonado y se somete a un calentamiento en condiciones normalizadas (ASTM 720-91). El carbón se ablanda y los granos se aglomeran unos a otros. El desprendimiento de las materias volátiles hace hinchar la masa viscosa que después de su resolidificación, es una masa de coque extremadamente poroso, liviano y de un volumen muy superior a la de la muestra inicial.

El hinchamiento se evalúa por comparación del residuo con una serie de muestras estándares. Estos ensayos, realizados en condiciones de operación precisas, tienen una buena reproducibilidad y permiten clasificar rápidamente los carbones aglomerantes, pero no hacen una diferenciación entre los buenos carbones coquizantes (ALARCÓN, 2011)

**Figura. 11. Perfiles para la determinación del FSI**



Fuente: Datos de Estudio

Siguiendo la norma ASTM 720-91 se prepara la muestra a una granulometría de malla 60, se introduce 1g de carbón dentro del crisol y se coloca dentro del horno tipo mufla como se ve en la foto 32, durante 4 minutos para obtener un resultado certero.

**Foto 32. Muestras y horno ensayo hinchamiento libre FSI**



Fuente: Autor del proyecto.

Como se muestra en la foto 33 luego de sacar la muestra del horno y dejarla enfriar se realiza la medición del índice de hinchamiento libre mediante una plantilla que se toma como referencia según la norma ASTM 720-91, obteniendo los siguientes resultados:

**Foto 33. Medición del índice de hinchamiento libre FSI**



Fuente: Autor del proyecto.

**Cuadro 10. Resumen resultados ensayo FSI**

MUNICIPIO	MINA	MANTO	FSI
RAQUIRA	PIEDRO	PIEDRO	8.5
RAQUIRA	PIEDRO	RUBÍ	6
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORITO	8.5
RAQUIRA	LA PEÑA	TESORO	9
RAQUIRA	LA PEÑA	CISQUERA	8.5
RAQUIRA	BOCATOMA	BOCATOMA	8.5
GUACHETA	LA MANA	MILAGRO	8.0
GUACHETA	LA MANA	ALISO	9.0
GUACHETA	LA MANA	TESORO MANA	8.5
GUACHETA	LA MANA	CISQUERA MANA	8.5
GUACHETA	LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	8.0

Fuente: Datos de Estudio

Como se puede observar en el cuadro anterior los carbones objeto de estudio tienen un FSI superior a 8 a excepción del carbón del manto piedro que tiene un FSI de 6, lo que los clasifica como carbones con altas cualidades coquizantes y aglomerantes.

### 3. CLASIFICACION DE LOS CARBONES

#### 3.1 CLASIFICACIÓN FRANCESA

Esta clasificación se basa en las propiedades reológicas, aglomerantes, materia volátil y la reflectancia media de la vitrinita. En esta clasificación se muestran 12 clases bien diferenciadas y es útil para tener idea del comportamiento del carbón en procesos metalúrgicos.

**Cuadro 11. Clasificación Francesa**

CLASE	MATERIA VOLATIL %	INDICE INCHAMIENTO LIBRE	TIEMPO RESOLIDIFICACION	DILATACION %	CLASIFICACION INTERNA	REFLECTANCIA MEDIA VITRINITA
Llameante seco	39 – 40	1			711	0.6 – 0.7
Llameante graso B	38 – 40	2 – 3 ½	< 460		721	0.7 – 0.75
Llameante graso A	37 – 39	3 ½ - 5	460 – 470	- 30 a –10	632	0.75 – 0.85
Graso B	37 – 39	7 – 7 ½	460 – 480	+20 a +60	632	0.85 – 0.95
Graso A	23 – 38	7 ½ - 8 ½	480 – 490	+100 a +230	632	0.95 – 1.05
Graso coque B	26 – 33	7 ½ - 9	490 – 505	+140 a +250	632	1.0 – 1.25
Graso coque A	21 – 26	8 – 9	495 – 510	+40 a +100	632	1.25 – 1.50
¾ Graso	18 – 20	6 – 8 ½	500 – 515	0 a +20	632	1.50 – 1.70
½ Graso	13 – 18	2 – 5			632	1.70 – 1.90
¼ Graso	12 – 16	1			632	1.90 – 2.10
Magro	8 – 14	0			632	2 – 2.8
Antracita	< 8	0			632	> 2.8

Fuente: BAEZ, 2003

**Cuadro 12. Resultados clasificación francesa**

MINA	MANTO	CLASIFICACION FRANCESA	NUMERO CLASIFICACION
LA PEÑA	TESORITO	GRASO COQUE A	632
LA PEÑA	TESORO	GRASO COQUE A	632
LA PEÑA	CISQUERA	GRASO COQUE A	632
PIEDRO	PIEDRO	GRASO COQUE B	632
PIEDRO	RUBI	GRASO COQUE B	632
BOCATOMA	BOCATOMA	GRASO COQUE B	632
LA MANA	MILAGRO	3/4 GRASO	632
LA MANA	ALISO	GRASO COQUE A	632
LA MANA	TESORO MANA	3/4 GRASO	632
LA MANA	CISQUERA MANA	GRASO COQUE A	632
LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	GRASO COQUE A	632

Fuente: Datos de Estudio

En el cuadro anterior se observa que según la clasificación francesa los carbones objeto de estudio son altamente coquizantes y algunos tienen características de carbones de mayor rango en el casi de los carbones  $\frac{3}{4}$  graso.

### 3.2 CLASIFICACIÓN ASTM POR RANGOS

**Cuadro 13. Clasificación ASTM por rangos**

CLASE	GRUPO	CARBONO FIJO % Slm.m		MATERIA VOLÁTIL % Slm.m		Poder calorífico Cal/gr hlmm		CARÁCTER AGLOMERANTE
		>	<	>	<	>	<	
<i>Antracítico</i>	1.Meta-Antracita	98			2			No Aglomerante
	2.Antracita	92	98	2	8			
	3.Semiantracita a	86	92	8	14			
<i>Bituminoso</i>	1.Bituminoso Bajo volátil	78	86	14	22			Comúnmente Aglomerante
	2.Bituminoso Medio volátil	69	78	22	31			
	3.Bituminoso Alto volátil A		69	31		7780 <sup>b)</sup>		
	4.Bituminoso Alto volátil B					7220	7780	
	5.Bituminoso Alto volátil C					6380 5830	7220 6380	Aglomerante
<i>Sub-bituminoso</i>	1.Sub bituminoso A					5830	6380	No Aglomerante
	2.Sub bituminoso B					5280	5830	
	1.Sub bituminoso C					4610	5280	
<i>Lignito</i>	1. Lignito A					3500	4610	No Aglomerante
	2. Lignito b						3500	

Fuente: BAEZ, 2003

Slmm: Base seca libre de material mineral

Hlmm: Base húmeda libre de materia mineral. Se refiere a la humedad que contiene el carbón como integrante natural, pero no incluye agua visible sobre la superficie del carbón.

Notas:

Esta clasificación no incluye unos pocos carbones, especialmente variedades no bandeadas, las cuales tienen propiedades químicas y físicas no usuales que caen dentro de los límites de carbono fijo o poder calorífico de los rangos bituminoso alto en volátiles y sub bituminoso. Contiene menos de 48% de carbono fijo (Slmm).

- a) Si aglomera clasifica en el grupo de bajo volátil de la clase bituminoso.
- b) Carbones en carbono fijo  $\geq$  69% se clasifican de acuerdo con este sin tener en cuenta el poder calorífico.
- c) Puede haber variedades no aglomerantes



**Cuadro 14. Resultados Clasificación ASTM**

MINA	MANTO	CLASIFICACION ASTM
LA PEÑA	TESORITO	BITUMINOSO BAJO VOLATIL
LA PEÑA	TESORO	BITUMINOSO MEDIO VOLATIL
LA PEÑA	CISQUERA	BITUMINOSO BAJO VOLATIL
PIEDRO	PIEDRO	BITUMINOSO MEDIO VOLATIL
PIEDRO	RUBI	BITUMINOSO MEDIO VOLATIL
BOCATOMA	BOCATOMA	BITUMINOSO MEDIO VOLATIL
LA MANA	MILAGRO	BITUMINOSO BAJO VOLATIL
LA MANA	ALISO	BITUMINOSO BAJO VOLATIL
LA MANA	TESORO MANA	BITUMINOSO BAJO VOLATIL
LA MANA	CISQUERA MANA	BITUMINOSO BAJO VOLATIL
LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	BITUMINOSO BAJO VOLATIL

Fuente: Datos de Estudio

### 3.3 CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL

Uno de los parámetros es el número de materias volátiles, como hemos visto que ocurre en todas las clasificaciones. Sin embargo, este criterio sólo permite una interpretación poco exacta en los carbones con más del 33% de M.V. Para los carbones con más de 33% de volátiles, la clasificación se realiza atendiendo también el poder calorífico. Estos límites, según se puede ver en el Tabla 16, permite la clasificación en 9 clases.

Para la determinación del segundo parámetro se tomó la aglomerabilidad del coque en el calentamiento rápido del carbón. Esta propiedad se define mediante dos ensayos que ya hemos detallado, y de modo indiferente: el ensayo al crisol y el índice de Roga. Por otra parte, como estos ensayos no definen la calidad del coque obtenido que sólo se podría determinar por su capacidad de hinchamiento, se tomó como parámetro auxiliar el dado por el ensayo Gray – King o por el valor dilatométrico de Arnu Audibert (BAEZ, 2003).

Cuadro 15. Clasificación Internacional

GRUPOS			Determinados por las propiedades aglutinantes		NUMEROS CLAVE								SUB GRUPOS			Determinados por la propiedades coquizantes	
No DE GRUPO	PARAMETROS ALTRANTIVOS DE GRUPO		La primera cifra del numero clave indica la clase del carbón, determinado por el contenido de materia volátil hasta 33% M.V.V. por el parámetro calorífico sobre 33% M.V. La segunda cifra indica el grupo del carbón, determinado por las propiedades aglutinantes. La tercera cifra indica el sub – grupo, determinado por las propiedades aglutinantes.										No DE SUB GRUPO	PARAMETROS ALTERNATIVOS DE SUB GRUPOS			
	Indice de hinchamiento en el crisol	Indice Roga												Ensayo Dilatómetrico	EnsayoGray King		
3	>4	<45					435	535	635				5	>140	> G 8		
						334	434	534	634				4	>50 – 140	G5 – G8		
						333	433	533	633	733			3	>0 - 50	G1 – G4		
						332	432	532	632	732	832		2	≤ 0	E – G		
2	2 ½ - 4	>20 – 45				323	423	523	623	723	823		3	>0 – 50	G1 – G4		
						322	422	522	622	722	822		2	≤ 0	E – G		
						321	421	521	621	721	821		1	Únicamente contracción	B – D		
1	1 – 2	>5 – 20			212	312	412	512	612	712	812		2	≤ 0	E – G		
					211	311	411	511	611	711	811		1	Únicamente contracción	B – D		
0	0 – ½	0 – 5		100		200	300	400	500	600	700	800	900	0	No se ablande	A	
NUMERO DE CLASE			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A título indicativo las siguientes clases tienen un contenido aproximado de materias volátiles de				
PARÁMETROS DE CLASE	MATERIAS VOLATILES (sic)		0 - 3	>3-6.5	>6.5-10	>10-14	>14-20	>20-28	>28-33	>33	>33	>33	>33				
	PODER CALORIFICO(hic) Cal. Gr. 30°C 96% humedad		-			-		-		>7750	>7200-7750	>6100-7200	>5700-6100	CLASE	6 . . . . 33 – 41% 7 . . . . 33 – 44% 8 . . . . 35 – 50% 9 . . . . 42 – 50%		

Fuente: BAEZ, 2003.

**Cuadro 16. Resultados Clasificación internacional**

MINA	MANTO	CLASIFICACION INTERNACIONAL
LA PEÑA	TESORITO	TIPO 434
LA PEÑA	TESORO	TIPO 434
LA PEÑA	CISQUERA	TIPO 434
PIEDRO	PIEDRO	TIPO 435
PIEDRO	RUBI	TIPO 435
BOCATOMA	BOCATOMA	TIPO 535
LA MANA	MILAGRO	TIPO 434
LA MANA	ALISO	TIPO 434
LA MANA	TESORO MANA	TIPO 434
LA MANA	CISQUERA MANA	TIPO 334
LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	TIPO 334

Fuente: Datos de Estudio

En el cuadro anterior podemos observar que los mantos explotados por la empresa INTERCARBON MINING S.A.S siendo el primer dígito el que indica la volatilidad, en los carbones objeto de estudio tenemos tipo 3, 4 en su mayoría y 5 estando en un buen rango de volatilidad; todos los carbones poseen índice de hinchamiento superior a 4 poniéndolos en el subgrupo 3 el cual es el segundo dígito de la clasificación teniendo así carbones con buenas cualidades aglomerantes; el último dígito se refiere al porcentaje de dilatación en el cual ocho de los carbones están por encima del 50% clasificándolos con el dígito 4 y tres de ellos están por encima de 140% clasificándolos con capacidades aglomerantes y coquizantes altas y atractivas al mercado.

### 3.4 Clasificación Ingeominas

**Tabla 4. Propuesta de Ingeominas**

No DE RANGO	R MAX %	DENOMINACIÓN DEL CARBÓN
1	>2.8	Antracítico
2	> 2.2 – 2.8	Semi – Antracítico
3	> 1.7 – 2.2	Bituminoso Bajo volátil
4	>1.4 – 1.7	Bituminoso Medio volátil A
5	> 1.1 – 1.4	Bituminoso Medio volátil B
6	> 0.8 – 1.1	Bituminoso Alto volátil A
7	> 0.7 – 0.8	Bituminoso Alto volátil B
8	> 0.5 – 0.7	Bituminoso Alto volátil C
9	> 0.4 – 0.5	Sub – Bituminoso
10	> 0.3 – 0.4	Lignítico

CUADRO I

NUMEROS DE TIPO			
V	% Vol.	E.	% Vol.
0	< 10	9	> 90
1	> 10 – 20	8	> 90 – 80
2	> 20 – 30	7	> 70 – 80
3	> 30 – 40	6	> 60 – 70
4	> 40 – 50	5	> 50 – 60
5	> 50 – 60	4	> 40 – 50
6	> 60 – 70	3	> 30 – 40
7	> 70 – 80	2	> 20 – 30
8	> 80 – 90	1	> 10 – 20
9	> 90	0	≤ 10

CUADRO II

NUMERO DE CUALIFICACION					
PARA CARBONES ANTRACITICOS		PARA CARBONES SEMIANTRACITICOS, BITUMINOSOS		PARA CARBONES SUB BITUMINOSOS Y LIGNITICOS	
No	%MV	No	% d	No	P.C Cal/gr (hlcz)
0	≤ 3	0	No se Ablanda	0	> 5700
1	> 3 – 5	1	Sólo contracción	1	> 5200 – 5700
2	> 5	2	≤ 0	2	> 4500 – 5200
		3	> 0 – 50	3	> 3400 – 4500
		4	> 50 – 140	4	≤ 3400
		5	> 140		

CUADRO III

Fuente: BAEZ, 2003

**Cuadro 17. Resultados clasificación propuesta por Ingeominas**

CLASIFICACION INGEOMINAS					
MINA	MANTO	CUADRO I DENOMINACION SEGÚN RMV	CUADRO II		CUADRO III
			VITRINITA TIPO	EXCINITA TIPO	CARBONES SEGÚN %DILATACION
LA PEÑA	TESORITO	Bituminoso medio volátil A	6	0	4
LA PEÑA	TESORO	Bituminoso medio volátil B	6	0	4
LA PEÑA	CISQUERA	Bituminoso medio volátil A	6	0	4
PIEDRO	PIEDRO	Bituminoso medio volátil B	6	0	5
PIEDRO	RUBI	Bituminoso medio volátil B	5	0	5
BOCATOM A	BOCATOM A	Bituminoso medio volátil B	6	0	5
LA MANA	MILAGRO	Bituminoso medio volátil A	6	0	4
LA MANA	ALISO	Bituminoso medio volátil A	6	0	4
LA MANA	TESORO MANA	Bituminoso medio volátil A	6	0	4
LA MANA	CISQUERA MANA	Bituminoso medio volátil A	6	0	4
LABERINTO	CISQUERA LABERINTO	Bituminoso medio volátil A	6	0	4

Fuente: Datos de Estudio

## 4. ANALISIS Y DISEÑO DE MEZCLAS

### 4.1 ANALISIS GENERAL DE LOS CARBONES

Para el diseño de mezclas se tiene en cuenta las necesidades del mercado actual y el estado de la oferta y la demanda del carbón a nivel mundial, estos ítems nos dan como resultado que la calidad del carbón aumenta sustancialmente su precio teniendo en cuenta características como: contenido de cenizas, materia volátil, carbono fijo, humedad relativa, índice de hinchamiento libre (FSI), plastometría y Dilatometría. A continuación se muestra un cuadro resumen con los carbones anteriormente caracterizados:

**Cuadro 18. Resumen características mantos**

MANTO	% CENIZAS	MATERIA VOLATIL	CARBON O FIJO	HUMEDA D RELATIVA	FSI	DDP M	DILATACION %	Reflectanci a Media de la Vitrinita
TESORITO	7.2	22.2	64.45	0.87	8.5	819	130	1.42
TESORO	11	24.85	65.63	0.74	9	1,160	64	1.28
CISQUERA	6.5	21.43	69.19	0.89	8.5	3,813	121	1.42
PIEDRO	6.8	27.74	66.91	0.80	8.5	482	195	1.30
RUBI	9.3	26.67	63.18	0.83	6	2,093	183	1.18
BOCATO MA	11	28.33	62.33	0.85	8.5	1,571	227	1.12
MILAGRO	6.8	20.11	72.77	0.83	8	680	38	1.57
ALISO	8.6	22.3	69.26	0.69	9	390	83	1.41
TESORO MANA	11.1	20.19	71.35	0.72	8.5	246	64	1.48
CISQUERA MANA	9.8	18.94	73.69	0.72	8.5	710	115	1.54
CISQUERA LABERINTO	7.1	18.11	74.22	0.72	8	987	145	1.66

Fuente: Datos de Estudio

En el cuadro anterior se pueden observar los principales ítems comerciales que se tienen en cuenta en la comercialización de carbón a nivel mundial; los carbones explotados por la empresa INTERCARBON MINING S.A.S son carbones engeneral con características potencialmente coquizantes y atractivos al mercado mundial ya que algunos de ellos poseen baja volatilidad y sus características reologicas los hacen carbones Premium; para facilitar su comercialización será necesario realizar una serie de mezclas para ofrecer productos con características específicas mejorando la calidad y las características, reduciendo perdidas económicas por calidad

## 4.2 DISEÑO Y CALCULO DE MEZCLAS

Para el diseño y cálculo de mezclas se tomó asesoría de la empresa COQUECOL S.A.C.I, quien recomendó en primer lugar analizar las características de cada manto, observando cuales son los ítems con mayor valor en cada uno y cuáles son los que requiere con mayor urgencia el mercado de carbón actual. Así que se realizaron 4 opciones de mezcla con la siguiente proporción:

**Cuadro 19. Proporción en la mezcla de los mantos**

N° MEZCLA	PROPORCION EN LA MEZCLA (%)													
	MINA PIEDRO			MINA LA PEÑA				MINA BOCATOMA	MINA MANA					MINA LABERINTO
	PIEDRO	RUBÍ	TOTAL	TESORITO	TESORO	CISQUERA	TOTAL	BOCATOMA	MILAGRO	ALISO	TESORO MANA	CISQUERA MANA	TOTAL	CISQUERA LABERINTO
1	10	15	25	7	4	12	23	20	4	4	7	9	24	8
2	3	12	15	8	5	18	31	10	8	4	10	10	32	12
3	6	20	26	8	12	8	28	20	5	3	5	8	21	5
4	10	10	20	10	4	11	25	6	10	10	5	12	37	12

Fuente: Datos de Estudio

En el cuadro 19 observamos una serie de valores representativos en porcentaje que nos indican la cantidad en porcentaje del carbón que aportaría cada uno de los mantos y cada una de los centros de producción minera, el valor en toneladas puede variar según la producción mensual de cada una de las minas, ya que no es un valor constante se tomara de acuerdo a los porcentajes.

La homogenización de cada una de las mezclas y la toma de cada una de las muestras de las mismas estuvo a cargo por la empresa COQUECOL S.A.C.I en su planta de acopio de carbón “Castilla” obteniendo los siguientes resultados:

**Cuadro 20. Caracterización diseño de mezclas**

N° MEZCLA	% CENIZAS	MATERIA VOLATIL	CARBON O FIJO	HUMEDAD RELATIVA	FS I	DDP M	DILATACION %	REFLECTANCIA MEDIA DE LA VITRINITA
MEZCLA 1	9.4	25.62	68.5	0.81	8.5	750	110	1.21
MEZCLA 2	8.7	21.4	69.1	0.79	8.5	1,080	115	1.42
MEZCLA 3	9.7	27.32	66.32	0.82	8.5	1,428	179	1.10
MEZCLA 4	8.0	22.17	65.54	0.85	8.5	1,220	122	1.40

Fuente: Datos de Estudio

En la mezcla 1 se tomaron los carbones de las cinco (5) minas objeto de estudio según la proporción de la producción actual observando que tendríamos un carbón limpio con contenido de cenizas aceptable; en cuanto a materia volátil se clasificaría como bituminoso medio volátil según la Clasificación ASTM de carbones por rango, lo que representaría un decrecimiento en el precio de la mezcla; el índice de hinchamiento libre para este caso de 8.5 lo clasificaría como un carbón con altas cualidades aglomerantes y sus propiedades reologicas como dilatometría y plastometría garantizan propiedades coquizantes óptimas para este proceso metalúrgico.

#### 4.3 PROPUESTA DE PRODUCTOS A OFRECER

Luego de observar el análisis de mezclas se determinó que se pueden ofrecer tres

(3) claros productos que cumplen con las exigencias del mercado mundial de carbón y representarían ganancias adicionales para la empresa.

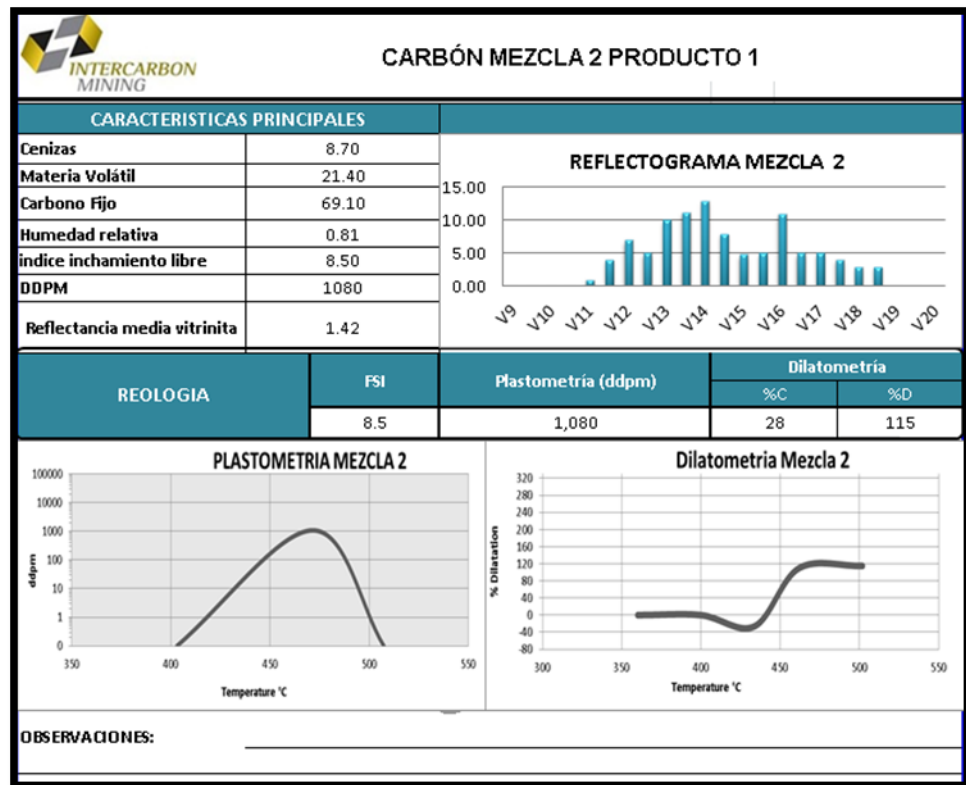
Se descartó la mezcla 1 debido a su alto contenido de materia volátil lo que lo hace una mezcla poco atractiva ya que la demanda de carbón exige carbones de volatilidad menor, y sus características reologicas, no son las mejores y no se extrae el mayor aprovechamiento de los carbones que son de alta calidad.

Así que se ofrecerían principalmente tres (3) productos en los cuales se saca el mayor aprovechamiento de cada uno de los carbones sin desechar los que presentan calidad menor en comparación a los otros, teniendo:



#### 4.3.1 Producto 1

Imagen 9. Resumen análisis mezcla 2 producto 1

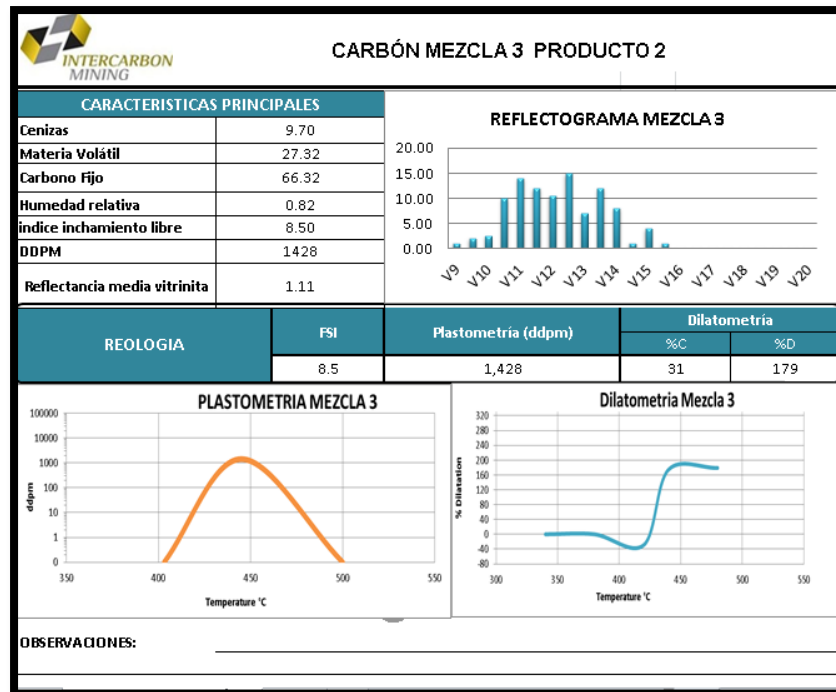


Fuente: Datos de Estudio

Como podemos observar el producto 1 tiene características atractivas en el mercado debido a su baja volatilidad y a sus propiedades reologicas apropiadas para procesos metalúrgicos propios de la industria, por otro lado sus características petrográficas permiten dar confiabilidad a los datos de materia volátil; cómo podemos ver en el reflectograma es una mezcla que está en rangos de vitrinoides entre 1.1 y 1.85 convirtiéndolo en un carbón confiable al mercado y con grandes expectativas de comercialización.

#### 4.3.2 Producto 2

Imagen 10. Resumen análisis mezcla 3 producto 2

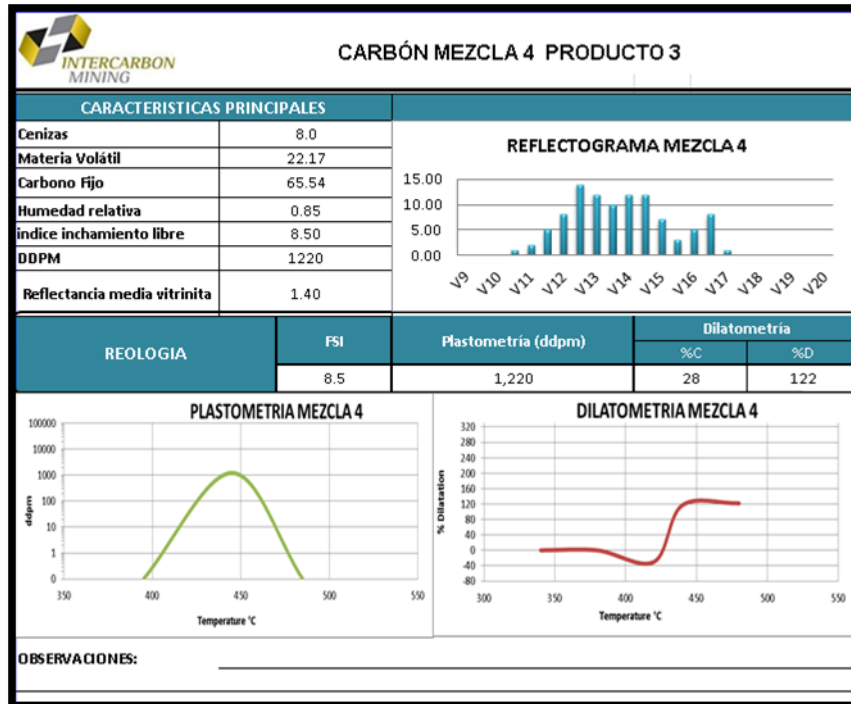


Fuente: Datos de Estudio

Este producto es de una calidad inferior al producto 1 debido a su media volatilidad, por otro lado tiene características reologicas de mayor interés comercial y los análisis petrográficos indican que está dentro del rango sobresaliente en cuanto a la reflectancia de la vitrinita, el reflectograma indica su media volatilidad ya que tiene una tendencia de distribución de datos en valores bajos; esta mezcla se realiza para utilizar y sacar el mayor provecho a los carbones medio volátiles que se encuentran en las zonas objeto de estudio.

### 4.3.3 Producto 3

Imagen 11. Resumen análisis mezcla 4 producto 3



Fuente: Datos de Estudio

Este producto al igual que el producto 1 posee volatilidad potencialmente comercial, su contenido de cenizas es bajo respecto a los dos productos anteriores dándole un ítem más de atracción comercial, su reologia clasifica la mezcla como potencialmente coquizante con altas características aglomerantes, la Reflectancia de la vitrinita está en un punto que indica su volatilidad y las excelentes condiciones coquizantes e industriales que tiene este carbón convirtiéndolo en carbón Premium ya que todas sus características son óptimas para procesos metalúrgicos.

## 5. COSTOS

A continuación se presentan los costos totales de 15 muestras analizadas en el laboratorio para cada uno de los ensayos y costos adicionales.

**Cuadro 21.Costos totales estudio**

ANALISIS LABORATORIO	COSTO UNITARIO	NUMERO MUESTRAS	COSTO TOTAL
Próximos	\$ 95,000	15	\$ 1,425,000
Plastometría	\$ 380,000	15	\$ 5,700,000
Dilatometría	\$ 420,000	15	\$ 6,300,000
RMV	\$ 387,000	15	\$ 5,805,000
Conteo maceral	\$ 285,000	15	\$ 4,275,000
preparación muestras	\$ 100,000	15	\$ 1,500,000
trasporte muestras	\$ 20,000	15	\$ 300,000
toma muestras	\$ 25,000	15	\$ 375,000
Papelería	\$ 10,000	15	\$ 150,000
Análisis de Datos	\$ 50,000	15	\$ 750,000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 26,580,000</b>

Fuente: Datos de Estudio

Al final del proyecto se obtiene que la caracterización geológica y fisicoquímica de los carbones explotados por la empresa INTERCARBON MINING S.A.S tiene un costo total de **\$ 26,580,000 COP**, costo asumido en su totalidad por la empresa ya que posee un convenio con la empresa COQUECOL S.A.C.I.

## **CONCLUSIONES**

Se lograron caracterizar los carbones explotados por la empresa INTERCARBON MINING S.A.S en los 5 centros de producción minera con los que cuenta en la actualidad.

Se caracterizaron 11 mantos en total mostrando y analizando sus principales características en cuanto a respaldos, destino y utilización del carbón que se extrae de cada uno de ellos.

Se realizaron ensayos próximos en los cuales se conocieron las características básicas de los 11 carbones caracterizados.

En el laboratorio se realizaron ensayos reológicos y petrográficos conociendo sus características aglomerantes y coquizantes de cada uno de los mantos con su respectivo análisis.

En los ensayos petrográficos se identificaron los vitrinoides presentes en cada uno de los mantos, encontrando cualidades coquizantes por su alto contenido de vitrinita y bajos contenidos de exinita o liptinita la que indica su contenido en materia volátil.

Luego de conocer las características de cada carbón y su potencial, se analizaron y se propusieron 4 tipos de mezclas de los cuales se presentaron 4 productos.

En general los carbones explotados por INTERCARBON MINING S.A.S son potencialmente coquizables con características propias para el uso en la industria metalúrgica.

## **RECOMENDACIONES**

Llevar control de calidad en la explotación de cada uno de los mantos para conservar su calidad y competitividad en el mercado.

Habilitar los laboratorios en la empresa para llevar un control interno de las características de los carbones y su variación en el desarrollo de la operación.

Realizar una base de datos con los reportes de calidad de los últimos años para observar el comportamiento de la calidad del carbón intentando así predecir su futuro comportamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALARCÓN GAITÁN, Germán Darío. Efecto de los parámetros reológicos y petrográficos del carbón en la calidad del coque metalúrgico, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Bogotá, D. C., Colombia, 2011.

BAEZ, Justo Ignacio. Manual de carbones y coquización. Tesis para optar título de ingeniero en minas. Sogamoso. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia UPTC- Sogamoso. 2003. 263p.

BARRERA SANTOS, Yerinelys. Caracterización física, Química y petrografía microscópica de los pisos, techos e intercalaciones de los mantos de carbón de la mina carbones de la jagua S.A. Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia. Sogamoso, Escuela de Ingeniería Geológica, Sogamoso, Colombia, 2008.

Datos suministrados por la empresa INTERCARBON MININING S.A.S.

Datos suministrados por COQUECOL S.A.C.I.

HERNANDEZ OJEDA, José Joaquín. Caracterización de la región que incluye los municipios: “Mongua, Gameza y Topaga”. Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia. Sogamoso, Escuela de ingeniería de minas, Sogamoso, Colombia, 1997.

HUBACH, E. Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia. Servicio Geológico Nacional., Informe 1212, 1957. pp. 1-166, Bogotá.

RODRIGUEZ ALARCON, Luis Ernesto. Caracterización de los carbones de la mina Ricu (Socotá) y diseño para su método de explotación. Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia. Sogamoso, Escuela de ingeniería de minas, Sogamoso, Colombia, 1990.

# **ANEXOS**